

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Měření digitálního televizního vysílání

Measurement of digital television broadcasting

2010

Bc. Martin Novotný

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Novotný**

Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601T013 Telekomunikační technika

Téma: **Měření digitálního televizního vysílání**
Measurement of digital television broadcasting

Zásady pro vypracování:

1. Popis principů digitálního televizního vysílání.
2. Softwarová simulace pokrytí signálem DVB-T.
3. Měření kvality příjmu DVB-T ve vytypovaných oblastech.

Seznam doporučené odborné literatury:

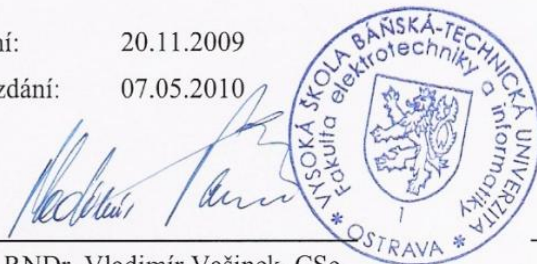
Podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Roman Šebesta, Ph.D.**

Datum zadání: 20.11.2009

Datum odevzdání: 07.05.2010



prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 4. května 2010

.....

Abstrakt

Práce se zabývá popisem digitálního televizního vysílání ve formátech DVB-T, DVB-C, DVB-S a DVB-H, stručným popisem jednokmitočtových sítí SFN a způsobem příjmu signálu DVB.

V další části je uveden popis simulačního softwaru RadioLab 3.5.0, simulace modelů pokrytí signálem DVB-T v ostravském regionu pro jednotlivé vysílací body a jejich grafické znázornění na mapě.

Hodnoty intenzit elektromagnetického pole získané simulačním modelem jsou ve třetí části práce prakticky ověřena měřením ve vytypovaných měřících bodech.

Klíčová slova

DVB; DVB-T; DVB-C; DVB-S; DVB-H; SFN; BER; MER; multiplex; simulace; software RadioLab; pokrytí území; kvalita signálu; vyzařovací charakteristika

Abstract

This work deals with a description of a digital television broadcasting in the DVB-T, DVB-C, DVB-S and DVB-H. It also deals with a brief description of a single frequency SFN network as well as with a reception of DVB signal.

The next section describes the simulation of software RadioLab 3.5.0, simulation of models of the DVB-T signal coverage in the Ostrava region for particular transmission points and their graphical representation on the map.

Intensity values of electromagnetic field gained by the simulation model are obtained in the third part. They are practically verified by measuring in the predicted measurement points.

Keywords

DVB; DVB-T; DVB-C; DVB-S; DVB-H; SFN; BER; MER; multiplex; simulation; software RadioLab; coverage area; signal quality; radiation characteristics

Slovník pojmů

AF	Antenna factor	Anténní faktor
BER	Bit Error Ratio	Bitová chybovost
C/N	Carrier to Noise Ratio	Poměr signál - šum
CBER	Channel Bit Error Rate	Bitová chybovost po výstupu z demodulátoru
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunication Administrations	Evropská konference pro poštu a telekomunikace
CIF	Common Intermediate Format	Standardizovaný formát videosignálu
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex	Kódový ortogonální kmitočtově dělený multiplex
CPU	Central Processing Unit	Hlavní procesorová jednotka
ČTÚ	-	Český telekomunikační úřad
DVB-C	Digital Video Broadcasting - Cable	Digitální kabelové televizní vysílání
DVB-H	Digital Video Broadcasting - Handheld	Digitální televizní vysílání pro mobilní zařízení
DVB-S	Digital Video Broadcasting - Satellite	Digitální satelitní televizní vysílání
DVB-T	Digital Video Broadcasting - Terrestrial	Digitální pozemní televizní vysílání
EBU	European Broadcasting Union	Evropská unie pro televizní a rozhlasové vysílání
ELG	European Launching Group	Evropská skupina pro digitální televizní vysílání
ELG	European Launching Group	Evropská skupina pro digitální televizi
ERP	Effective Radiated Power	Efektivně vyzářený výkon
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	Evropský telekomunikační institut
FEC	Forward Error Correction	Dopředná oprava chyb
GPS	Global Position System	Globální polohový systém
GSM	Global System for Mobile Communication	Mobilní systém GSM
HDTV	High Definition TV	Televizní vysílání s vysokým rozlišením
IDTV	Integrated Digital Television	Televizor s digitálním přijímačem
IP	Internet Protocol	Internetový protokol
LDTV	Low Definition TV	Televizní vysílání s nízkým rozlišením
LNB	Low Noise Block	Satelitní konvertor
MER	Modulation Error Ratio	Modulační chybovost
MHP	Multimedia Home Platform	Domácí multimediální platforma
MIP	Mega Initialization Packet	Paket pro synchronizaci SFN sítí

MPEG	Moving Pictures Experts Group	Skupina pro zpracování obrazu
NTSC	National Television System Committee	Kódování barevného televizního vysílání v USA
PAL	Phase Alternating Line	Kódování barevného televizního vysílání
PCI	Peripheral Component Interconnect	Počítačová sběrnice
PCMCIA	Personal Computer Memory Cards International Association	Rozšiřující sběrnice v PC a notebookech
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	Kvadrurní amplitudová modulace
QPSK	Quadrature Phase shift Keying	Kvadrurní klíčování s posuvem fáze
SCART	Syndicat des Constructeurs d'Appareils Radiorécepteurs et Téléviseurs	Konektor pro připojení audio/video zařízení
SDTV	Standard Definition TV	Televizní vysílání se standardním rozlišením
SECAM	Séquentiel Couleur à Mémoire	Starší kódování barevného televizního vysílání
SFN	Single Frequency Network	Jednokmitočtová síť
TS	Time Slicing	Časové segmentování
UHF	Ultra High Frequency	Ultra krátké vlny
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System	Univerzální mobilní komunikační systém
UNC	Uncorrected packets	Neopravené pakety po dokončení opravy dat
USB	Universal Serial Bus	Univerzální sériová sběrnice
VBER	Viterbi Bit Error Rate	Bitová chybovost za Viterbiho dekodérem
VHF	Very High Frequency	Velmi krátké vlny
WGS84	World Geodetic System 1984	Světový geodetický systém z roku 1984

Obsah

1	Úvod	9
2	Analogové televizní vysílání	10
3	Digital Video Broadcasting (DVB)	12
3.1	Princip DVB	12
3.2	Výhody a nevýhody DVB	16
3.3	Pozemní digitální televizní vysílání DVB-T	17
3.4	Kabelové digitální televizní vysílání DVB-C	21
3.5	Satelitní digitální televizní vysílání DVB-S	22
3.6	Digitální televizní vysílání pro mobilní zařízení DVB-H	23
4	Sítě SFN	25
5	Šíření signálu v prostoru	27
6	Softwarová simulace pokrytí území signálem DVB-T	29
6.1	Simulační model pokrytí – legislativa	29
6.2	Popis simulačního softwaru RadioLab 3.5.0	31
6.3	Vysílače signálu DVB-T	33
6.4	Simulační modely pokrytí území signálem DVB-T	37
6.4.1	Simulační modely pokrytí území signálem DVB-T Ostrava – Hošťálkovice	38
6.4.2	Simulační modely pokrytí území signálem DVB-T Ostrava – Hladnov	41
6.4.3	Simulační modely překrytí území signálem DVB-T sítě SFN	46

7	Měření signálu DVB-T	48
7.1	Měření signálu DVB-T – legislativa	48
7.2	Vytypované body měření signálu DVB-T	50
7.3	Intenzita signálu DVB-T ve vytypovaných měřících bodech	53
7.4	Měření signálů DVB-T a použitá měřicí sestava	54
7.5	Výpočty intenzit signálů z naměřených hodnot	56
7.6	Srovnání intenzit signálů ze simulací a z měření	59
7.7	Kvalita signálu – bitová a modulační chybovost	61
7.8	Subjektivní hodnocení kvality signálu DVB-T	64
8	Závěr	66

Přílohy

Příloha A	Vyzařovací charakteristiky anténních systémů Ostrava – Hladnov a Ostrava – Hošťálkovice	72
Příloha B	Naměřené hodnoty multiplexů z měřících bodů	77

Seznam příloh v elektronické podobě

Příloha CD1	- Vyhláška č. 163/2008
Příloha CD2	- Nařízení vlády č. 161/2008
Příloha CD3	- Složení multiplexu MUX1
Příloha CD4	- Získaná data ze všech měření z přístroje SEFRAM 7825
Příloha CD5	- Technická dokumentace přístroje SEFRAM 7825
Příloha CD6	- Technická dokumentace antény Televes 1044

1 Úvod

Již v dobách před objevením principu šíření elektrické energie si člověk toužil uchovat své vzpomínky na vhodné médium. Na úplném počátku této snahy stály kresby v jeskyních, následované obrazy talentovaných umělců, přes první nesmělé krůčky s fotografií, až po první filmy zaznamenané na kinofilm a „oživené“ přes ruční promítací stroj.

Teprve s rozvojem elektrotechniky a vynálezem první elektronky bylo možno obraz zachytit v elektrické podobě – takzvaným ikonoskopem, sestaveným v roce 1923. Za jeho vynálezem stojí ruský vědec Vladimir Kosma Zworykin. První televizní vysílání proběhlo v USA roku 1928 s rozlišením 30 řádků.

V Evropě začalo první televizní vysílání roku 1929 rovněž s rozlišením 30 řádků a to ve Velké Británii. Postupem času docházelo ke zvyšování rozlišení až na 625 řádků při 50 pulsímcích, které známe dodnes. Tento standard byl ustanoven v roce 1952.

V tehdejší Československu poprvé televizní signál zachytil a sledoval student František Pilát na vlastním sestaveném přijímači na střední vlně o délce 261,5 metru. Šlo o vysílání z Velké Británie.

K prvnímu televiznímu přenosu v někdejším Československu došlo už v roce 1948 z 11. všesokolského sletu, avšak jelikož neexistovala infrastruktura vysílačů a fakticky ani přijímačů televizního vysílání, proběhla projekce ve vybraných veřejných prostorech.

Pravidelné televizní vysílání se rozběhlo v roce 1954 a barevný signál v normě SECAM (Séquentiel Couleur à Mémoire) až na počátku 70. let.

2 Analogové televizní vysílání

Přenos televizního analogového signálu v České republice stále ještě probíhá zejména v pásmech VHF (Very High Frequency) a UHF (Ultra High Frequency), tedy na velmi krátkých vlnách a ultra krátkých vlnách s frekvencemi od 150 MHz až do 1 GHz v normě PAL (Phase Alternating Line). Přesné značení pásem a jejich kmitočty jsou uvedeny v tabulce *tab. 1*.

Parametry/Systém	PAL (B,G,H)	PAL (D)	PAL (I)	PAL (M)	PAL (N)	SECAM (B,G,H)	SECAM (D,K,L)	NTSC
Rozlišení (viditelné)	720x576	720x576	720x576	720x480	720x576	720x576	720x576	720x480
Obnovovací frekvence	50 Hz	50 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	60 Hz
Šířka pásma videa	5 MHz	6 MHz	5,5MHz	4,2MHz	4,2MHz	5 MHz	6 MHz	4,2MHz
Šířka pásma video+audio	5,5 MHz	6,5 MHz	6 MHz	4,5 MHz	4,5 MHz	5,5 MHz	6,5 MHz	4,5 MHz

Tab. 1: Vysílané analogové normy a jejich charakteristiky

Výkony a kmitočty hlavních vysílačů byly rozděleny podle Stockholmské dohody v roce 1961, a to tak, aby vzájemné rušení našich vysílačů i vysílačů v sousedních zemích, bylo pokud možno minimální. Pro Evropu bylo naplánováno 2100 vysílačů s kmitočtovou modulací pro velmi krátké vlny a 360 hlavních televizních vysílačů. Aby nedocházelo k vzájemnému rušení, jsou kmitočtová pásma rozdělena na jednotlivé kanály. Při velkém počtu vysílačů je patrné, že některé musí pracovat na stejném kanálu. Proto byly doporučeny vzdálenosti jednotlivých vysílačů dle *tab. 2*.

Výkon/pásmo	I. a II.	III.	IV. a V.
0,1 kW	270 km	210 km	100 km
10 kW	510 km	430 km	280 km
100 kW	710 km	570 km	380 km

Tab. 2: Doporučené rozestupy vysílačů

Analogové televizní vysílání nepřenáší snímky v celku, ale jednotlivě bod po bodu a navíc prokládaně, tedy po pulsímcích s obnovovací frekvencí 50 Hz v Evropě a 60 Hz zejména v USA.

Mezi těmito pulsímkami je vytvářen zatemňovací interval trvající dobu nezbytně nutnou k nasměrování paprsku na požadovanou pozici – na počátek prvního řádku. Během této doby paprsek nenese žádnou obrazovou informaci a vzniká prostor pro přenos dodatečných informací, například teletextu. Rozlišení analogového televizního vysílání v normě PAL je 720x576 řádků a normě NTSC (National Television System Committee) 720x480 řádků, která se používá především v USA.

Analogové televizní vysílání by mělo být v České republice definitivně vypnuto podle harmonogramu Českého telekomunikačního úřadu (ČTÚ) dle *Technického plánu přechodu zemského analogového televizního vysílání na zemské digitální televizní vysílání* [2] schváleným vládou v *nařízení vlády č. 161/2008* nejpozději 30.6.2012, a to v regionech Zlínska a Jesenicka. Toto nařízení vlády je součástí přílohy č. CD2.

3 Digital Video Broadcasting (DVB)

Vzhledem k tomu, že v analogovém televizním vysílání je vždy maximálně jeden televizní program přiřazen jednomu přenosovému kanálu a tyto kanály, pokud spolu sousedí, se nesmějí překrývat, dostáváme pro dané území omezený počet použitelných přenosových kanálů. Jinými slovy, nelze donekonečna rozšiřovat počet přenášených televizních programů ve stávajícím pevném frekvenčním spektru, nad kterým dozoruje v České republice Český telekomunikační úřad.

Bylo tedy nutné najít řešení, jak zefektivnit přenos televizních programů ve stávajícím omezeném frekvenčním spektru. Touto problematikou se začalo zabývat sdružení Evropská skupina pro digitální televizi - ELG (European Launching Group), které vydalo v roce 1993 Memorandum porozumění. V současné době má toto sdružení více jak 200 evropských nevládních institucí, ke kterým od roku 1994 patří i Česká televize.

Tímto byl položen základní kámen pro současný standard DVB (Digital Video Broadcasting) [3] digitálního televizního vysílání se třemi verzemi DVB-T, DVB-S a DVB-C. Zároveň se začíná prosazovat nejmladší formát DVB-H, kde:

- DVB-T představuje pozemní (terestriální) digitální šíření signálu
- DVB-S je družicové (satelitní) digitální šíření signálu
- DVB-C je forma digitálního šíření signálu prostřednictvím kabelové televize (cable)
- DVB-H umožňuje šířit digitální signál pro mobilní zařízení (handheld)

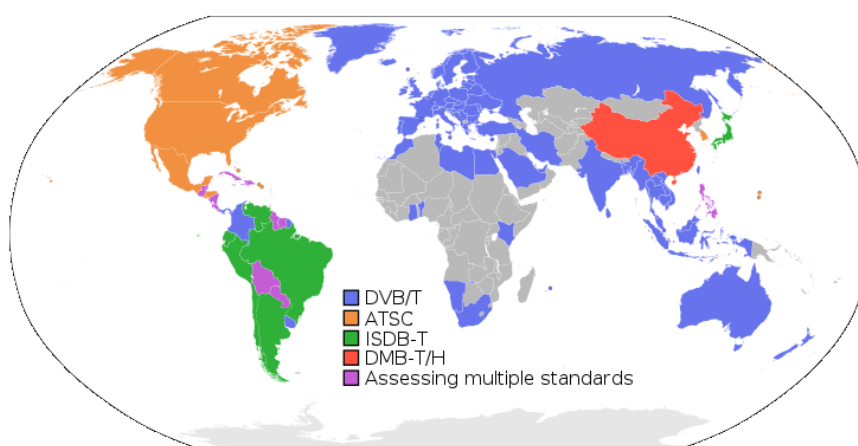
Tyto uvedené systémy šíření digitálního signálu se navzájem odlišují druhem modulace při zpracování signálu na určené kmitočtové pásmo.

3.1 Princip DVB

Systém digitálního televizního vysílání DVB (Digital Video Broadcasting), v češtině někdy také označován jako DTV, je evropský systém číslicového přenosu a zpracování audio a video signálu pro televizní vysílání a příjem. Název DVB byl ustanoven v roce 1993 zástupci

televizních společností, regulačních organizací, výrobců technologií i koncových zařízení a operátory přenosových tras. Jednalo se celkem o 260 členů z 35 zemí celého světa. Celou specifikaci DVB vydal Evropský telekomunikační institut (ETSI) ve spolupráci s Evropskou unií pro televizní a rozhlasové vysílání EBU (European Broadcasting Union).

Ačkoli se může zdát, že systém je pouze evropský, není tomu tak. V současné době je používán v různých částech světa viz *obr. 1*, jako jsou například některé asijské státy včetně Ruska, ale také Austrálie.

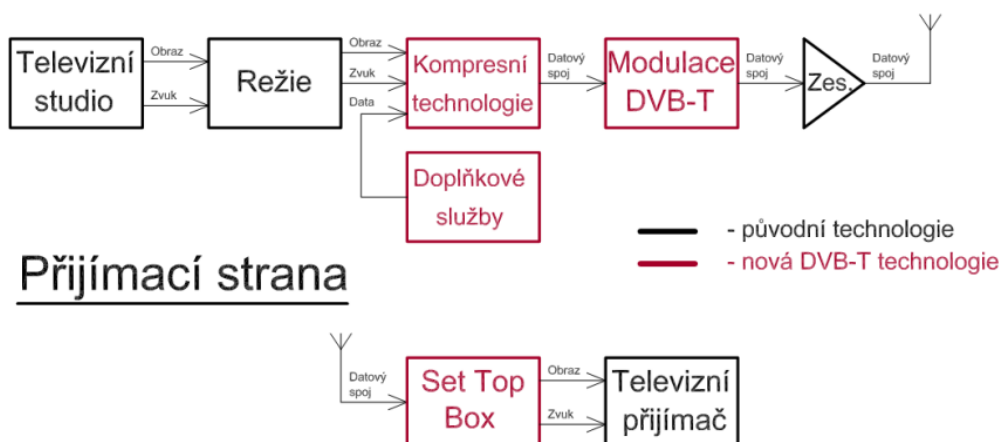


Obr. 1: Typy digitálního televizního vysílání ve světě [14]

Předností digitálního televizního vysílání v systému DVB je schopnost přenést několik televizních programů v jednom jediném přenosovém kanálu. Tuto skupinu programů na jediném přenosovém kanálu nazýváme multiplex. Vlastnost přenosu více televizních programů v jednom multiplexu se vztahuje i na rozhlasové vysílání.

Celý proces zpracování, přenosu a příjmu digitálního televizního signálu probíhá poněkud odlišně, jak je patrné z obrázku *obr. 2*, pro pozemní DVB šíření signálu. Není zde zachována zpětná kompatibilita s analogovým systémem, proto je potřeba vyměnit celou technologii jak na vysílací, tak i na přijímací straně. Obraz i zvuk jsou nejprve nasnímány, poté navzorkovány (zpravidla kmitočtem 13,5 MHz) a následně se získané vzorky přiřadí do určité konečné úrovně – proběhne kvantování.

Vysílací strana



Obr. 2: Blokový model DVB-T vysílání a příjmu

Získaný datový tok je však stále příliš vysoký (pohybuje se řádově kolem 200 Mbit/s), proto je nutné data komprimovat. V systému DVB se využívá ztrátové kódování formátu MPEG (Moving Pictures Experts Group), kdy již nelze signál znovu zcela zrekonstruovat do původní kvality. Toto kódování se dále dělí na starší MPEG1, dnes v DVB běžně používaný MPEG2 a novější účinnější MPEG4, se kterým se v budoucnu počítá hlavně v DVB-T systému. Dnes nejčastěji používaný kodek MPEG2 byl zvolen především pro svou univerzálnost a účinnost v redukci dat, kdy jsou vynechávána redundantní data v částech signálu, která by po dekódování nebyla pro lidské oko postřehnutelná, jako jsou zejména rychlé děje v obraze. Další výhodou MPEG2 je schopnost přenosu difference mezi snímky obrazového signálu a nevykreslovat vždy celý obraz, čímž dochází k další výrazné úspoře přenášených dat.

Obráz i zvuk lze přenášet s rozdílnou kvalitou, kde v případě přenosu obrazu se jedná o rozdílné zobrazení rozlišení a v případě zvuku lze hovořit o monofonním, stereofonním, duálním či vícekanálovém přenosu zvuku. Rozdíl zde bývá opět ve výsledné bitové rychlosti a tím i v množství přenesených dat. U zvukové části je doporučeno používat kmitočty 48 kHz případně 44,1 nebo 32 kHz. Povolené bitové toky jsou 32 až 448 kbit/s. Ve všech případech a uvedených kombinací jsme však limitováni celkovou přenosovou kapacitou kanálu, která se odvíjí od zvoleného typu komprese, kódování a typu modulace.

Výše popsaným způsobem získáme dva datové toky, obrazový a zvukový, které je nutno sloučit do společného kanálu – multiplexu, tedy televizního programu. Tento krok provádí multiplexer a postup se nazývá multiplexování. Do jednoho multiplexu je dodán mimo obrazu a zvuku ještě tok doplňkových a datových služeb, který zahrnuje teletext, podtitulky, informace o vysílaných programech a podobné služby. Tento multiplex je dále slučován s jinými multiplexy (televizními programy), případně rozhlasovým vysíláním, a jako celek je dále distribuován do jednoho přenosového kanálu, který se nazývá transportní multiplex.

Transportní multiplex však není definitivně určen k odeslání prostřednictvím přenosové trasy ve formě radioreléových skoků či družicové retranslace, ale je nutné jej navíc doplnit o zabezpečení proti chybám. V tomto případě je využito několikasupňového zabezpečení, které se skládá z Reed-Solomonova kódu a konvolučního FEC (Forward Error Correction) kódu. Tento signál je již možné namodulovat nejčastěji stavovou modulací QAM (Quadrature Amplitude Modulation) či QPSK (Quadrature Phase shift Keying), využívanou spíše v satelitním přenosu DVB, a pomocí vhodné přenosové trasy distribuovat koncovým uživatelům.

Zcela novou technologií je možnost přenosu jiných datových toků, kterými jsou interaktivní služby (například hlasování, ankety....) či obchodní a reklamní služby na bázi platformy MHP (Multimedia Home Platform). Další nezanedbatelnou výhodou je možnost pokrytí území z více navzájem se překrývajících vysílačů, které distribuují signál na stejném kmitočtu. Jedná se o takzvané jednofrekvenční SFN síť (Single Frequency Network), jenž se navzájem neruší, ale doplňují. Podmínkou funkčnosti je však v tomto případě přesná synchronizace vysílacích stanic.

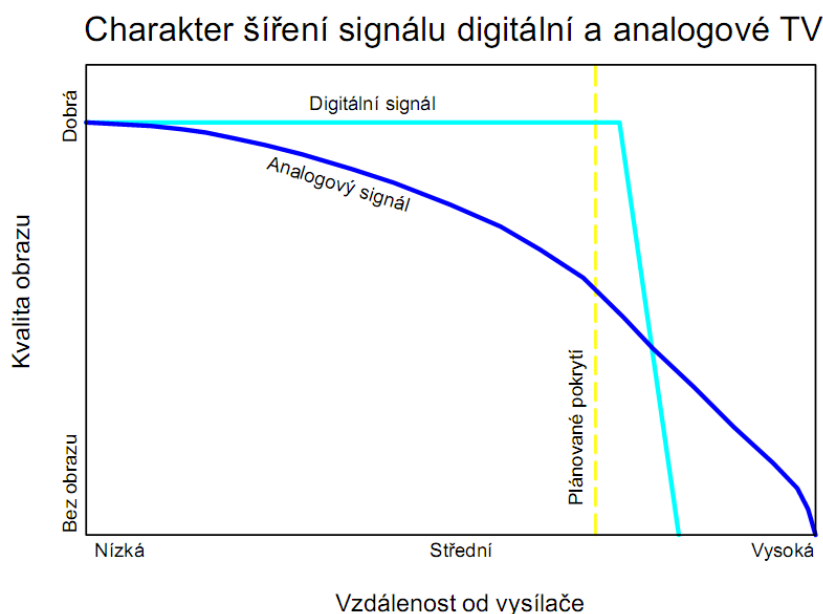
Zmíněný popis je platný pro vysílání digitálního televizního signálu DVB. Pro příjem systému DVB je nutné mít nainstalovanou vhodnou přijímací anténu (DVB-T) nebo satelitní parabolickou anténu s přijímacím konvertorem (DVB-S). Pouze v případě kabelového připojení (DVB-C) tato podmínka odpadá, neboť ji splňuje provozovatel kabelové sítě. Vždy je však nutno přijímací sestavu rozšířit o samostatný přijímač digitálního vysílání, takzvaný Set Top Box nebo o vhodný televizní přijímač s integrovaným digitálním přijímačem. Samotné přijímače se vyrábějí v různých provedeních a hardwarové či softwarové vybavy, vždy ale dokáží dekodovat přijímaný modulovaný transportní multiplex a získaný analogový audio a video signál přenést na televizní přijímač.

3.2 Výhody a nevýhody DVB

Digitální zpracování obrazových a zvukových signálů s sebou přináší řadu kladných vlastností, kterými jsou zejména vyšší odolnost vůči zkreslení a rušení, automatizované odbavení v produkci i distribuční přenosové soustavě, možnost použití řady kompresních algoritmů, nižší nutný odstup signál/šum, nižší celkový vyzářený výkon, efektivnější využití kmitočtového spektra, větší jasové a barevné rozlišení a jako bonus doplňkové služby typu příjem vyžádaných pořadů či teleshopping.

Jako každý systém i vysílání DVB signálu má své nevýhody. Mezi ty nejmarkantnější lze zařadit brzkou ztrátu obrazu i při poměrně silné a kvalitní úrovni přijímaného signálu v porovnání s analogovým vysíláním, které je graficky znázorněno v *obr. 3*.

Další, nikoli technickou, ale finanční nevýhodou je nutnost změny hardwarové základny jak na vysílací, tak na přijímací straně. Tedy na přijímací straně přikoupit přijímač digitálního vysílání Set Top Box nebo nový televizní přijímač s integrovaným digitálním přijímačem.



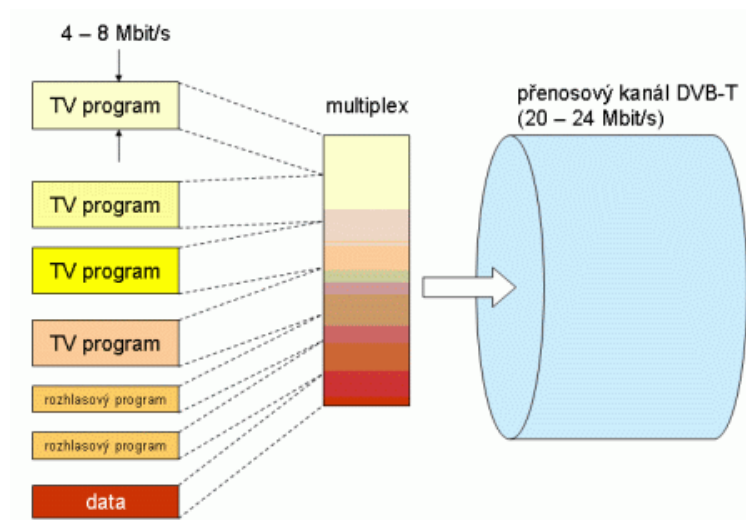
Obr. 3: Charakter šíření signálu digitální a analogové TV

3.3 Pozemní digitální televizní vysílání DVB-T

Základní zpracování vysílací části DVB-T [3] řetězce probíhá snímáním obrazu a zvuku, které zůstává stejné jako v obecném popisu systému DVB, tedy probíhá vzorkování původního audiovizuálního signálu a každému vzorku se přiřadí určitá hodnota – probíhá kvantizace. Množství dat putujících od tohoto zdroje vysílání, což v obvyklém případě představuje televizní studio, je však příliš vysoké, aby jej bylo možno přenést v jednom kanále s obvyklou šířkou pásma 8 MHz, která zůstala zachována z původního analogového přenosu. Proto je nutné data komprimovat tak, aby se celková bitová rychlost pohybovala v rozmezí 4 až 8 Mbit/s na jeden televizní program v jednom multiplexu ve standardním obrazovém rozlišení 720x576 obrazových bodů s 25 snímků/s a 16 bity na obrazový bod.

Multiplex zde představuje soubor datových toků pro obrazovou část, zvukovou část, někdy i rozhlasovou část a datový tok doplňkových služeb, které představují informační služby o právě vysílaném televizním programu, teletext, ale třeba také aktualizací soubory pro vybraná koncová zařízení – Set Top Boxy. Tyto multiplexy se dále skládají (multiplexují) do transportních multiplexů obsahujících zpravidla 4 až 6 televizních programů dle toho, jaká kvalita těchto programů je požadována. Transportní multiplex je dále nutno zabezpečit proti chybám během přenosu. Zde se opět uplatňuje zabezpečení obecného systému DVB-T, doplněné o přídatné zabezpečení datového toku vnitřním konvolučním ochranným kódováním FEC2 s tzv. prokládacím stupněm pro zvýšení odolnosti proti koncentrovanému shluku chyb. Takto zabezpečený transportní multiplex je již možno podstoupit pomocí vhodného přenosového kanálu k dalšímu zpracování.

Celková datová propustnost přenosového kanálu se u systému DVB-T pohybuje v rozmezí 20 až 24 Mbit/s. Podrobný popis co lze přenášet v jediném transportním multiplexu je uveden na příkladu prvního multiplexu České televize, který je uveden v příloze č. CD3. Multiplexování [6] je velice zjednodušeně uvedeno na *obr. 4*.



Obr. 4: Zjednodušený proces multiplexování [6]

Dalším a posledním důležitým krokem před definitivní distribucí transportního multiplexu koncovým uživatelům je jeho modulace. U pozemního systému DVB-T se nejčastěji využívá vícestavové kvadrurní amplitudové modulace QAM64, kdy je možno najednou přenést šest bitů – 2^6 binárních informací. U této modulace je navíc použit modulační princip OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) dosahující velkého počtu rovnoměrně rozmístěných dílčích subnosných kmitočtů. V systému DVB-T je v České republice použito pro přenos zabezpečeného transportního multiplexu celkem 6817 subnosných vln, s označením módu 8k. V praxi se však všech 6817 subnosných frekvencí nevyužívá výhradně pro přenos požadované datové informace, ale je potřeba z této hodnoty odečíst 769 referenčních subnosných sloužících ke vzorkování kanálů. Vysílací proces prostřednictvím OFDM lze nazvat jakýmsi paralelním způsobem vysílání transportního multiplexu po jednotlivých subnosných kmitočtech.

Pro upřesnění je třeba uvést, že systém DVB-T [3] svou variabilitou poskytuje celou řadu variant. Základní dělení je dané počtem nosných kmitočtů v rámci multiplexu COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex), a to:

- systém 2k s 1705 nosnými v jediném multiplexu s šířkou pásma 8 MHz
- systém 4k s 3409 nosnými v jediném multiplexu s šířkou pásma 8 MHz
- systém 8k s 6817 nosnými v jediném multiplexu s šířkou pásma 8 MHz
- další varianty se liší způsobem modulace, kdy je možné transportní multiplex modulovat metodami QPSK nebo QAM. Modulaci QAM lze dále volit se 16 stavy nebo

64 stavy. U těchto modulací je možno dále volit kódový poměr konvolučním kódováním FEC pro 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 nebo 7/8 v kombinaci s ochranným intervalem 1/4, 1/8, 1/16 nebo 1/32. Vhodnou volbou těchto kombinací lze měnit celkovou přenosovou bitovou rychlost v rozsahu od 4,98 Mbit/s do 31,67 Mbit/s a tím pádem i počet přenášených televizních programů v jediném multiplexu. Současně se zvyšující se rychlostí se snižuje odolnost proti rušení.

- jednou z vlastností DVB-T systému je i schopnost přenášet jednu modulaci v jiné modulaci. Pokud je signál takto přenášen, označuje se jako hierarchická modulace. Přenos signálu z výše jmenovaných variant modulace bez vložené další modulace se naopak nazývá nehierarchický přenos.

Pro větší přehlednost je zde uvedena tabulka *tab. 3* uvádějící možné varianty přenosu signálu DVB-T a celkovou rychlost výsledného transportního multiplexu v módu 8k.

Varianta systému	Modulace	Kódový poměr	Výsledná rychlost [Mbit/s] v závislosti na ochranném intervalu			
			1/4	1/8	1/16	1/32
A1	QPSK	1/2	4,98	5,53	5,85	6,03
A2	QPSK	2/3	6,64	7,37	7,81	8,04
A3	QPSK	3/4	7,46	8,29	8,78	9,05
A5	QPSK	5/6	8,29	9,22	9,76	10,05
A7	QPSK	7/8	8,71	9,68	10,25	10,56
B1	16QAM	1/2	9,95	11,06	11,71	12,06
B2	16QAM	2/3	13,27	14,75	15,61	16,09
B3	16QAM	3/4	14,93	16,59	17,56	18,1
B5	16QAM	5/6	16,59	18,43	19,52	20,11
B7	16QAM	7/8	17,42	19,35	20,49	21,11
C1	64QAM	1/2	14,93	16,59	17,56	18,1
C2	64QAM	2/3	19,91	22,12	23,42	24,13
C3	64QAM	3/4	22,39	24,88	26,35	27,14
C5	64QAM	5/6	24,88	27,65	29,27	30,16
C7	64QAM	7/8	26,13	29,03	30,74	31,67

Tab. 3: Závislost celkové rychlosti transportního multiplexu na variantě přenosu signálu DVB-T v módu 8k [3]

V České republice se využívá pro přenos signálu DVB-T varianta C2, která je vhodná pro kvalitní přenos čtyř televizních programů v jediném transportním multiplexu. Velikost

ochranného intervalu se volí dle vzdálenosti sousedních vysílačů, avšak nejčastěji používaným je 1/4 ochranný interval.

Na straně druhé, tedy přijímací, je nutné mít vhodnou televizní anténu umístěnou v příměstských a odlehlých oblastech vně budovy [7]. V městských oblastech by měla vyhovovat i vnitřní pokojová anténa, avšak vždy je nutno přihlédnout k místním geografickým podmínkám. Ve většině případů bude pro příjem digitálního televizního vysílání dostačovat stávající anténa a anténní rozvody, vyjma větších obytných domů, kde mohou nastat problémy s nevyhovujícími zesilovači či filtry citlivými na frekvenční a fázovou charakteristiku přijímaného signálu.

Vždy je však potřeba přijímací část dovybavit přijímačem digitálního televizního vysílání, a to zejména formou samostatného přístroje, zvaného Set Top Box, který v sobě sdružuje vlastní tuner, demodulátor, demultiplexor, dekodér MPEG2 (u novějších typů i MPEG4) a D/A (Digitálně/Analogový) převodník. Všechny typy Set Top Boxů takto získaný a upravený DVB-T signál vlastně konvertují do stávajících analogových systémů, především do normy PAL nebo již analogový nemodulovaný signál přivádějí do klasických analogových televizních přijímačů například prostřednictvím konektoru SCART (Syndicat des Constructeurs d'Appareils Radiorécepteurs et Téléviseurs).

Další možnost příjmu DVB-T signálu bez nutnosti instalace Set Top Boxu je prostřednictvím IDTV (Integrated Digital Television), což představuje televizní přijímač s integrovaným digitálním přijímačem. V takovém přístroji zůstaly analogové pouze vysokofrekvenční a mezifrekvenční moduly, obrazový zesilovač a rozkladové obvody. Veškeré operace s obrazovým, zvukovým a datovým tokem doplňkových informací probíhá za pomoci číslicových obvodů. Digitální zpracování a mikropočítačové řízení všech funkcí televizního přijímače umožnilo výrazné zvýšení uživatelského komfortu a nabídlo více funkcí, jako jsou zobrazování jednoho i více obrazů z různých signálových zdrojů na obrazovce současně, zmrazení obrazu či jeho přiblížení.

Poslední dobou jsou volně v distribuci také různé tunery DVB-T signálu pro výpočetní techniku [6], a to jak ve formě USB (Universal Serial Bus) zařízení či karet do PCI (Peripheral Component Interconnect) nebo PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association) slotu. Tato zařízení lze rozdělit na dvě kategorie, a to na full-featured karty, které kromě tuneru obsahují i hardwarový dekodér MPEG-2 a lze je tedy použít i s poměrně pomalým počítačem a na budget karty, které obsahují jen přijímač a extrahovaný MPEG-2 předávají dále

ke zpracování jiným procesem, nejčastěji za pomoci CPU (Central Processing Unit) počítače. Full-featured karty byly produkovány spíše z počátku vzniku technologie, dnes se produkují výhradně s budget řešením.

3.4 Kabelové digitální televizní vysílání DVB-C

Velice podobný systém digitálního televizního vysílání jako je pozemní DVB-T představuje přenos televizního vysílání prostřednictvím kabelové sítě. Tento druh šíření televizního signálu nazýváme DVB-C [9] a jeho hlavní uplatnění je v hustě obydlených aglomeracích, kde bývá mnohdy problém se zachycením klasického DVB-T z důvodu stínění jinými budovami či rušení signálu jiným zařízením.

Kabelovou síť spravuje zpravidla poskytovatel těchto služeb a bývá značně rozlehlá. Tento poskytovatel v podstatě jen za poplatek spojený s údržbou sítě dále distribuuje televizní signál, který získává z pozemního nebo satelitního příjmu. Výhodou DVB-C systému je možnost kombinací televizních programů z různých zdrojů či poskytování placených kanálů v daleko širší míře, než je tomu tak u pozemního vysílání, kde jsou limity nastaveny počtem přenosových kanálů, které je možno pro přenos využít. Televizní kanály kabelových rozvodů mívají obvykle stejnou šířku kmitočtového pásma jako televizní kanály pozemního vysílání. Na přenosovém kanálu zpravidla bývá u DVB-C malé zkreslení s nízkou úrovní šumu a rušením, proto se zde nevyužívá zabezpečení datového toku vnitřním konvolučním kódováním FEC2 jako je tomu u DVB-T. I pro tento typ televizního vysílání se používá kvadrurně amplitudová modulace QAM, avšak je možno využít modulaci od 16 stavů až po 256 stavů. Čím vyšší je počet stavů, tím více lze přenést dat, ale signál je náchylnější na zkreslení a šum, čímž se zvyšuje bitová chybovost. Šířka kanálu může být volena v rozsahu od 2 do 10 MHz. Závislost rychlosti na šířce kanálu je uvedena v *tab. 4*. Poněkud nadstandardní službou v systému DVB-C je šifrování kanálů, umožňující koncovému divákovi zpřístupnění některých programů po zaplacení příslušného poplatku.

Jako koncové zařízení bývá opět využíván nejčastěji Set Top Box, ale v poslední době již někteří výrobci zareagovali na poptávku na trhu a nabízejí televizní přijímače jak s integrovaným DVB-T přijímačem, tak s DVB-C digitálním přijímačem. Cenový rozdíl televizního přijímače s DVB-C proti televizoru bez tohoto příjmu je zanedbatelný.

Typ QAM modulace	Šířka pásma				
	2 MHz	4 MHz	6 MHz	8 MHz	10 MHz
16 stavů	6,41	12,82	19,23	25,64	32,05
32 stavů	8,01	16,03	24,04	32,05	40,07
64 stavů	9,62	19,23	28,85	38,47	48,08
128 stavů	11,22	22,44	33,66	44,88	56,1
256 stavů	12,82	25,64	38,47	51,29	64,11

Tab. 4: Závislost rychlosti datového toku na šířce pásma a typu modulace

3.5 Satelitní digitální televizní vysílání DVB-S

Satelitní digitální televizní příjem DVB-S [10] je vůbec nejstarším a také nejpočetněji zastoupeným systémem z rodiny DVB signálů, který byl standardizován už v roce 1964. Tento systém využívá poněkud odlišnou kvadraturní fázovou modulaci QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), která není tak efektivní a nedosahuje takových rychlostí jako modulace QAM, avšak tento nedostatek vyvažuje větší šířka pásma, zpravidla 27 MHz. Přenosová rychlost DVB-S systému při této šířce pásma dosahuje až 30 Mbit/s.

Tento typ přenosu má svá specifika, jako jsou obrovské vzdálenosti mezi družicí a pozemskou stanicí či energeticky omezený maximální vyzářený výkon družicí. Na druhou stranu je zde vzhledem k vysokým modulačním frekvencím okolo 12 GHz možnost využít poměrně velké šířky pásma s minimálními odrazy po přenosové trase. Nesmíme však zapomenout na značný útlum způsobený právě velkou vzdáleností vysílače, družice a přijímače.

Úvodní zpracování televizního signálu probíhá podobně jako u systémů DVB-T a DVB-C, avšak již vytvořený transportní multiplex je namodulován pomocí modulace QPSK do pásma 14 GHz a odvysílán k družici obíhající Zemi ve výšce 35000 až 36000 km, tam je po zachycení převáděn do pásma 11 až 12 GHz a zpět odvysílán na zemský povrch. Signál tak překoná vzdálenost 70000 až 72000 km a tomu odpovídá vždy nízká úroveň přijímaného signálu. Drobný rozdíl od systémů DVB-T a DVB-C spočívá v rozptylování transportního paketu pomocí pseudonáhodné binární sekvence z důvodu rovnoměrného pokrytí signálem celého pásma na satelitním transpondéru. Tentýž postup se používá i pro přenos směrem

od družice k pozemnímu přijímači, kde se tato sekvence odfiltrává. Chybovost BER je zde velice nízká a odpovídá hodnotě 10^{-10} až 10^{-11} .

Vzhledem k vysokým hodnotám kmitočtů, na kterých je signál DVB-S přenášen, a velmi nízkým úrovním přijímaného signálu se využívá parabolických antén a přijímacích LNB (Low Noise Block) konvertorů, které zachycený signál převádějí z kmitočtu 11 až 12 GHz do pásma 950 až 2000 MHz a tento signál je teprve přiváděn do DVB-S přijímače a zde je zpracováván.

3.6 Digitální televizní vysílání pro mobilní zařízení DVB-H

Nejmladší systém DVB-H [3], který je určen ke sledování digitálního televizního vysílání na přenosných a mobilních zařízeních se běžně komerčně příliš nevyužívá. V České republice se v nejbližší době předpokládá pilotní testovací provoz, neboť pro DVB-H systém v současné době ještě není vybudována patřičná infrastruktura. Principiálně vychází z pozemního přenosu signálu DVB-T a fakticky by tento formát mohl sdílet infrastrukturu právě budované sítě DVB-T vysílačů. Stejně tak jako je absence vysílací technologie, není prozatím ani oslnivá nabídka vlastních mobilních zařízení se zabudovaným DVB-H přijímačem. Světlou výjimkou jsou někteří asijské producenti koncových mobilních přístrojů nebo přístroje nejvyšších řad u ostatních výrobců, kteří nedávno tento DVB-H systém zabudovali do svých přístrojů.

Na formát DVB-H jsou prioritně kladeny poněkud jiné požadavky než na systém pozemního šíření digitálního signálu. V první řadě se předpokládá příjem na zařízení, které nemá externí zdroj napájení ani stálou přípojku na distribuční síť s 230 V a tudíž jediným zdrojem napájení je baterie či akumulátor s omezenou kapacitou elektrické energie a tomu je potřeba přizpůsobit hardwarové nároky na zpracování datového toku. Rovněž bude mobilní zařízení plnit i jinou funkci (např. bude obsahovat GSM modul), tudíž je potřeba uvolnit jistou výpočetní kapacitu pro tyto činnosti.

Jak již bylo uvedeno, systém DVB-H vychází z formátu DVB-T, avšak z důvodu úspory energie je datový tok přijímán nikoli ve formátu MPEG2, ale ve formě IP datagramů, které jsou vkládány do formátu MPEG2. Příjem signálu neprobíhá kontinuálně, nýbrž po krátkých dávkách. Tyto dávky jsou přijaty do operační paměti přijímače (velice podobné vyrovnávací

paměti) a ten je dále dekóduje a zpracovává. Tento příjem po dávkách se nazývá časové segmentování TS (Time Slicing), trvá desítky milisekund a dokáže ušetřit až 95% spotřeby energie. Po přijetí dávky dat se totiž vysokofrekvenční část přijímače na několik sekund odpojí od napájení a po uplynutí stanoveného periodického intervalu se opět ožíví a přijímá další data do operační paměti.

Tímto způsobem lze vyřešit i předávání či spíše přeladění DVB-H mobilního přijímače na jiný vysílač, který má v daný okamžik lepší úroveň signálu. V době, kdy přijímač nepřijímá, může vyhledávat okolní vysílače a průběžně se přeladovat bez přerušení příjmu nebo ztráty dat ze sledovaného programu.

Modulace může mít podobu jak kvadraturně fázové modulace QPSK, tak i kvadraturně amplitudové modulace QAM s počtem 16 nebo 64 stavů. Obrazové rozlišení se předpokládá 352x288 obrazových bodů ve formátu CIF, kde se výsledná bitová rychlost blíží hranici pouze 400 kbit/s na jeden televizní program v transportním multiplexu.

Formát DVB-H může na první pohled připomínat streamované video, které je už dnes možné sledovat přes GSM síť, avšak rozdíl je v množství přenesených dat, nutnosti jejich kontinuálního toku a tím i horší plynulosti obrazu. Navíc je příjem streamovaného videa právě vzhledem k velkému objemu dat vhodný spíše v nově budovaných GSM sítích třetí generace, tedy UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), a z tohoto důvodu je i zpoplatněn.

4 Sítě SFN

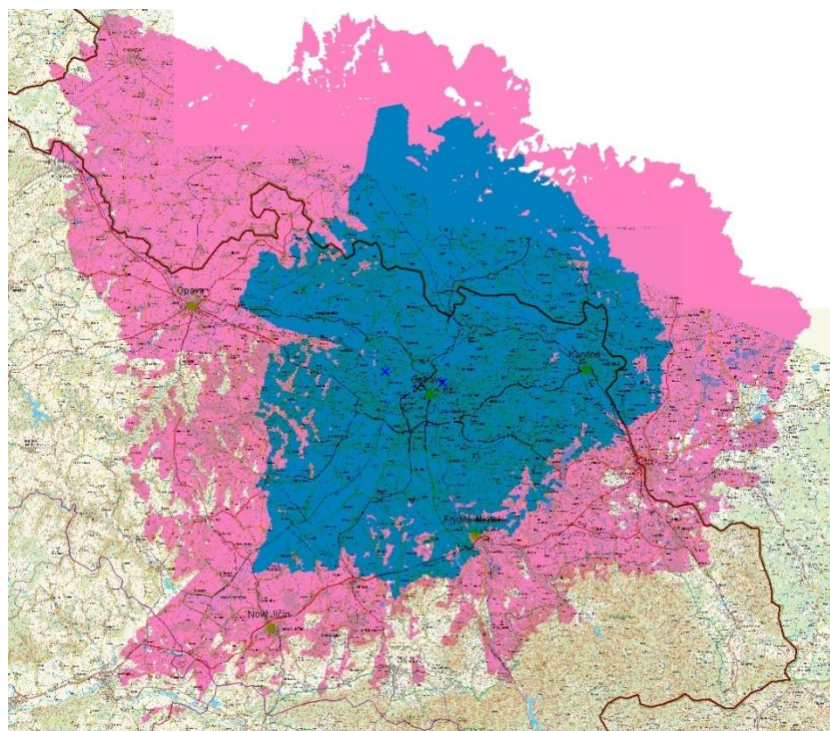
Síť SFN (Single Frequency Network) představuje skupinu DVB-T [3] vysílačů pracujících na jednom shodném kmitočtu, tedy kanálu. Konkrétní síť pracuje na kmitočtu 738 MHz, tedy na 54. kanálu v Ostravě, kdy první vysílač je v Ostravě – Hošťálkovicích a vysílá s výkonem 100 kW a druhý vysílač se nachází v Ostravě – Hladnově a pracuje s výkonem 10 kW, viz *obr. 5*. U analogových systémů docházelo při překrytí signálu ze dvou vysílačů pracujících na stejné frekvenci k vzájemnému rušení, způsobeném zpožděním signálů vlivem různé vzdálenosti od vysílače nebo vlivem odrazu signálu od překážky. U sítí SFN k tomuto jevu za splnění několika podmínek nedochází.

Jelikož příjem DVB-T signálu je odolný vůči odrazům od terénních překážek díky ochrannému intervalu, je možno při správné časové synchronizaci zajistit současné a navzájem nerušené šíření tohoto signálu ze dvou i více televizních vysílačů současně.

Ochranný interval je perioda, která se včleňuje do DVB-T signálu, aby bylo možno opožděné a odražené signály absorbovat a vždy byl upřednostňován především přímý signál. Ostatní zpožděné signály jsou potlačeny. Délka ochranného intervalu se volí dle vzdálenosti sousedního DVB-T vysílače a udává se jako konstanta k poměru zvoleného ochranného intervalu a užitečného signálu, např. 1/8.

Synchronizace začíná už při tvorbě transportního multiplexu, kdy se k tomuto signálu přidává MIP (Mega Initialization Packet) značka, obsahující časový synchronizační údaj z GPS (Global Position System) systému [4] a tato je spolu s transportním multiplexem přenášena distribuční sítí, jež může být tvořena radioreléovými spoji, satelitním spojem či optickou sítí až k jednotlivým vysílačům DVB-T signálu. Na těchto vysílačích je opět nainstalován GPS přijímač a dle jeho časového údaje a MIP značky se synchronizačním GPS údajem je signál sesynchronizován a následně odvysílán.

V případě chybné synchronizace nebo vadného GPS přijímače by se bohužel v SFN síti takovýto vysílač stal „rušičkou“ v oblasti, kde se SFN síť překrývají.



Obr. 5: Překrytí signálů DVB-T vysílačů tvořících síť SFN na 54. kanálu na Ostravsku

5 Šíření signálu v prostoru

K tomu, aby bylo možné transportní multiplexy signálu DVB-T přenášet k vlastním přijímačům, je potřeba využít nějakého vhodného média – v tomto případě se už od počátku analogového vysílání využívá elektromagnetické vlnění [8]. Je výhodné zejména širokou oblastí pokrytí území svým signálem a nemusíme pro něj budovat vhodnou infrastrukturu, jako je tomu u kabelového příjmu DVB-C.

Elektromagnetické vlnění má, jak již název napovídá, dvě navzájem neoddělitelné složky, a to elektrickou a magnetickou. Každá z těchto složek v čase mění svůj rozkmit – amplitudu. Jelikož se tento děj pravidelně opakuje, jedná se o jev periodický. Počet těchto period v časovém úseku se nazývá frekvencí. DVB-T systém pracuje v rozsahu IV. a V. televizního pásma, tedy s frekvencí 470 až 862 MHz. Přehled kanálů a jim přidělených frekvencí je v tabulce *tab. 5*.

Elektromagnetické vlnění se šíří různou rychlostí v různých prostředích, nejrychleji však ve vakuu, a to rychlostí blízkou rychlosti světla. V prostředí obsahujícím další látku se rychlost šíření zpomaluje. Vliv zemské atmosféry je však na rychlost elektromagnetického vlnění zanedbatelný, proto lze považovat rychlost jeho šíření za rychlost světla. Díky znalosti této rychlosti $c = 299792458$ m/s a frekvenci f [Hz] jsme schopni určit vlnovou délku λ [m] tohoto elektromagnetického vlnění. Pro dané televizní pásmo je délka vlny, tedy jedné periody od jejího začátku do konce dle vztahu (1) rovna 64 cm až 36 cm.

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ [m]} \quad (1)$$

Pro tyto vlnové délky, respektive tyto frekvence můžeme pominout jiné vlastnosti elektromagnetického vlnění, jako jsou odrazy od vrchních vrstev atmosféry, které se uplatňují především u výrazně delších vln pohybujících se v desítkách až stovkách metrů.

Pro příjem elektromagnetického vlnění [13] v pásmech velmi krátkých a ultra krátkých vln se využívá povrchové přímé vlny (šířící se obdobně jako světlo). Tam, kde je tedy z místa příjmu přímo vidět vysílač, bývá zaručen i kvalitní příjem. Proto je třeba, aby anténa vysílače byla umístěna co nejvýše a byla tak zajištěna viditelnost z mnoha míst. Přímá vlna se v terénu odrazí od každé větší překážky, zejména od vodivých předmětů. Pro odraz je rozhodující velikost překážky, jsou-li rozměry překážky malé, vznikne v nejnepříznivějším případě pouze ohyb a vlna se neodrazí. Tak vznikají za překážkou odstíněná místa, kde je příjem značně

zhoršený. Vliv překážek je velmi patrný při televizním příjmu, méně při rozhlasovém. Dosah vysílače v pásmu velmi krátkých a ultra krátkých vln tedy závisí na jeho výkonu a na výšce antény nad terénem. Velice komplikovaný je i příjem v blízkosti vysílače, kde kvůli skládání přímého šíření a odrazům od země vzniká výrazné stojaté vlnění, nazývané oscilační pole. V oscilačním poli se intenzita pole sčítá nebo odečítá – vznikají maxima a minima, které mohou být od sebe vzdáleny pouze jen několik metrů.

Kanál	Frekvence DVB-T [MHz]	Pásmo	Kanál	Frekvence DVB-T [MHz]	Pásmo
5	177,5	I. až III.	41	634	IV. a V.
6	184,5		42	642	
7	191,5		43	650	
8	198,5		44	658	
9	205,5		45	666	
10	212,5		46	674	
11	219,5		47	682	
12	226,5		48	690	
			49	698	
21	474	IV. a V.	50	706	
22	482		51	714	
23	490		52	722	
24	498		53	730	
25	506		54	738	
26	514		55	746	
27	522		56	754	
28	530		57	762	
29	538		58	770	
30	546		59	778	
31	554		60	786	
32	562		61	794	
33	570		62	802	
34	578		63	810	
35	586		64	818	
36	594		65	826	
37	602		66	834	
38	610		67	842	
39	618		68	850	
40	626		69	858	

Tab. 5: Tabulka čísel kanálů a odpovídajících frekvencí v DVB-T systému [11], [12]

6 Softwarová simulace pokrytí území signálem DVB-T

Při výpočtech bylo nutno vycházet z vyhlášky č. 163 ze dne 30. dubna 2008 o způsobu stanovení pokrytí signálem zemského televizního vysílání [1], kterou vydal Český telekomunikační úřad a která definuje řadu podmínek, jež je potřeba dodržet, a která je uvedena v příloze č. CD1.

6.1 Simulační model pokrytí - legislativa

Pro základní orientaci v problematice simulace pokrytí signálem DVB-T je nutné znát alespoň základní vymezení pojmů definované vyhláškou č. 163/2008 [1], které jsou uvedeny v § 5 a 6, z níž je následující výňatek:

§ 5 Metoda stanovení intenzity na území pokrytém signálem zemského digitálního televizního vysílání výpočtem

Výpočet intenzity se provádí s následujícími parametry

- a) Minimální hodnoty intenzity užitečného signálu zemského digitálního televizního vysílání jsou uvedeny v tabulce *tab. 6*.
- b) Křivky šíření elektromagnetických vln jsou vztaženy pro 50 % míst, 50 % času pro užitečný signál a pro 50 % míst, 1 % času pro rušící signál.
- c) Příjem na pevnou přijímací anténu.
- e) Systémová varianta zemského digitálního televizního vysílání je s modulačním schématem šedesátičtyřstavové kvadrurní amplitudové modulace (64-QAM), provozním režimem s počtem 6 817 nosných kmitočtů (8k), kódovým poměrem udávajícím míru zabezpečení přenosového systému proti chybám v hodnotě 2/3 a ochranným intervalem pro zajištění příjmu nerušeného vícecestným šířením (nežádoucími odrazy) a umožňujícího použití jednofrekvenčních sítí v hodnotě 1/4.
- f) Ochranné poměry pro výpočet rušení jsou uvedeny v tabulce *tab. 7*.

§ 6 Stanovení pokrytí území signálem zemského televizního vysílání

1. Pokrytí území se stanoví na základě výpočtu intenzity v oblasti, jejíž hranice odpovídají územnímu členění České republiky (zákon č. 36/1960 Sb., o územním členění státu, ve znění pozdějších předpisů) nebo hraničním územní oblasti (dle § 3 nařízení vlády č. 161/2008 [2], o technickém plánu přechodu zemského analogového televizního vysílání na zemské digitální televizní vysílání).
2. Zájmové území je pokryto zemským televizním vysíláním, pokud signál z jednoho nebo více vysílačů dosahuje pro signál zemského digitálního televizního vysílání intenzity větší nebo rovné minimální intenzitě pro příjem na pevnou přijímací anténu podle § 5 písm. a) (minimální hodnoty intenzity užitečného signálu zemského digitálního televizního vysílání *tab. 6*) a je dodržena hodnota ochranného poměru podle § 5 písm. f) (ochranné poměry pro výpočet rušení *tab. 7*).

Rozsah rádiových kanálů	Hodnota intenzity E_{\min} [dB μ V/m]
5 - 6	48
7 - 9	49
10 - 12	50
21 - 22	52
23 - 30	53
31 - 38	54
39 - 47	55
48 - 58	56
59 - 69	57

Tab. 6: Minimální hodnoty intenzity užitečného signálu DVB-T

Užitečný signál	Rušící signál	Rádiový kanál	Ochranný poměr [dB]
Digitální	digitální	shodný	20
Digitální	digitální	sousední	-30
Digitální	analogový	shodný	4,5
Digitální	analogový	sousední horní	-38
Digitální	analogový	sousední spodní	-35

Tab. 7: Ochranné poměry

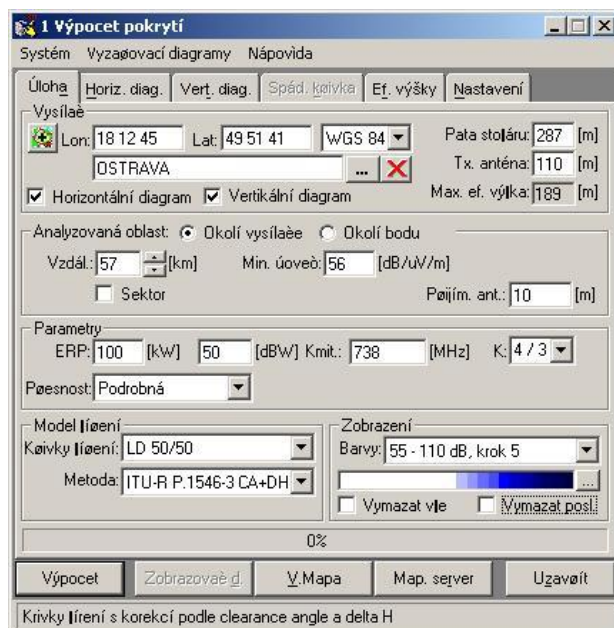
Rušení signálů digitálních a analogových televizních vysílání není předmětem této práce a nebude zde proto dále popisováno.

6.2 Popis simulačního softwaru RadioLab 3.5.0

Počítačová simulace pokrytí zvoleného území probíhala v softwaru RadioLab 3.5.0 společnosti CRC Data, který obsahoval databázi aktuálních rozhlasových i televizních vysílačů, jak pro analogovou, tak i pro digitální televizi. Součástí databáze jsou i vyzařovací charakteristiky antén digitálních televizních vysílačů. Pro simulaci pokrytí části území byly použity mapové podklady České republiky v měřítku 1:200000, 1:500000 a 1:1000000.

RadioLab je software pro analýzu a vizualizaci šíření rádiových signálů, který lze využít při návrhu radiokomunikačních systémů pro služby plošného pokrytí, systémů bod – více bodů a mikrovlnných radioreléových spojů. Systém při výpočtu simulace signálu DVB-T využívá jak profil terénu, tak morfologii zvoleného území. Jako jeden z výstupů tohoto softwaru může být výškopisná mapa sloužící k projekci diagramů rádiové viditelnosti. Dále lze zobrazovat horizontální i vertikální vyzařovací charakteristiky antény, spádovou křivku či diagram efektivních výšek. Samozřejmostí je spolupráce mapových podkladů se souřadným systémem WGS84 [4].

Systém RadioLab 3.5.0 byl při všech výpočtech nakonfigurován pro koeficient zakřivení zemského povrchu na $4/3$, křivky šíření elektromagnetických vln byly vztaženy pro 50 % míst a 50 % času při užitečném signálu, azimutální krok byl nastaven na 10° , výška přijímací antény byla nastavena na 10 m dle *vyhlášky č. 163/2008* [1] a samotný výpočet simulace pokrytí DVB-T signálem probíhal dle evropského doporučení ITU-R P. 1546. Základní nastavení simulačního softwaru je zachyceno na obrázku *obr. 6*.



Obr. 6: Základní nastavení softwaru RadioLab 3.5.0 pro výpočet pokrytí signálem DVB-T

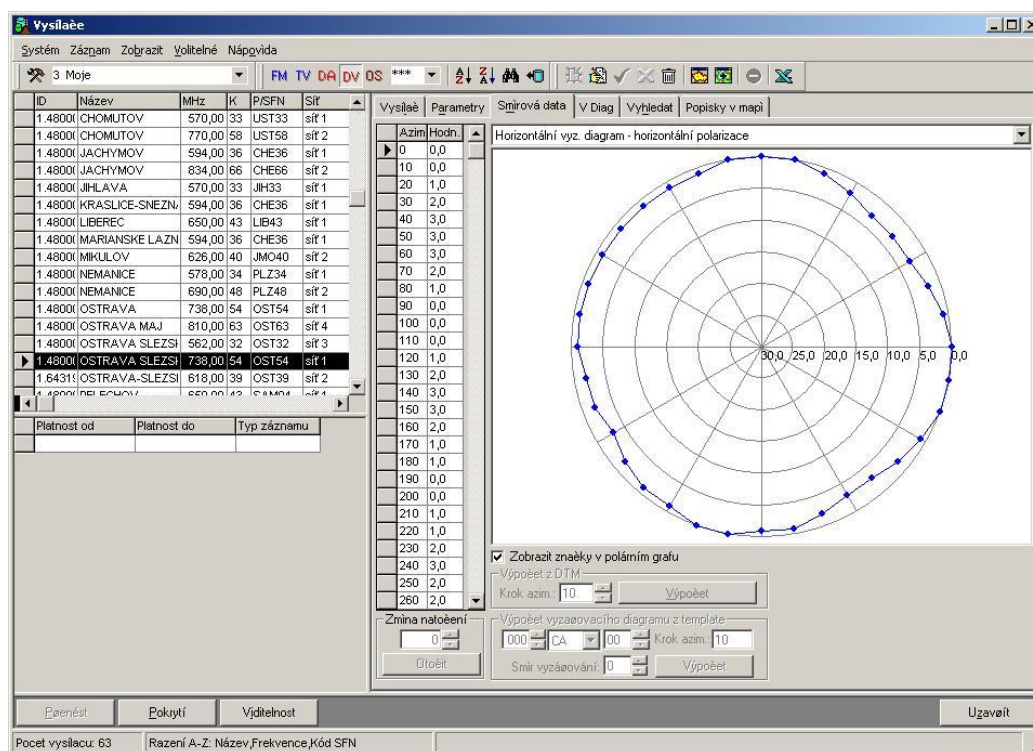
Minimální úroveň signálu byla nastavena dle zvoleného kanálu, tak jak to předepisuje vyhláška č. 163/2008 [1] dle tabulky *tab. 6*. Efektivní vyzářené výkony ERP byly nastaveny podle hodnot na oficiálních webových stránkách Českého telekomunikačního úřadu a Českých Radiokomunikací a.s. [11] a [12], které se shodovaly s interní databází vysílačů DVB-T signálu v softwaru RadioLab. Tyto efektivní vyzářené výkony ERP jsou uvedeny v tabulkách *tab. 9* a *tab. 10*.

Vyzařovací diagramy jsou součástí softwaru RadioLab 3.5.0, respektive v jeho nadstavbě nazvanou RadioBase. U dat k vysílači jsou mimo vyzařovacích diagramů (příklad vyzařovacího diagramu na *obr. 7*) uvedeny i jejich souřadnice v celosvětovém souřadném systému WGS84 [4], nadmořská výška paty stožáru vysílače i výška anténní soustavy.

Vyzařovací diagramy pro oba ostravské vysílače a jednotlivé multiplexy jsou uvedeny v příloze dle následující tabulky *tab. 8*.

Lokalita	Multiplex	Vyzařovací diagram
Ostrava - Hošťálkovice	MUX1 pro ERP 15,8 kW (do 31.10.2009)	Příloha č. A1
	MUX1 pro ERP 100 kW (po 1.11.2009)	Příloha č. A2
Ostrava - Hladnov	MUX1	Příloha č. A3
	MUX2	Příloha č. A4
	MUX3	Příloha č. A5

Tab. 8: Vyzařovací diagramy anténních systémů pro jednotlivé multiplexy



Obr. 7: Vyzařovací diagram anténního systému pro multiplex MUX1 z Ostravy - Hladnova

6.3 Vysílače signálu DVB-T

V současné době probíhá průběžné spouštění DVB-T vysílání na celém území České republiky. Ostravský region se této digitalizaci televizního vysílání nevyhnul a naopak byl jako jeden z prvních pokryt DVB-T signálem z vysílače Ostrava – Hladnov, jak je patrné z obrázku *obr. 8*, s konfigurací uvedenou v tabulce *tab. 9*. Druhým vysílačem, který ještě v současné době vysílá

jak analogový televizní signál, tak i digitální DVB-T signál je Ostrava – Hošťálkovice, který je na obrázku *obr. 9*, s konfigurací v tabulce *tab. 10*.



Obr. 8: Vysílač DVB-T Ostrava – Hladnov [15]

DVB-T vysílač Ostrava - Hladnov		
poloha	18°18'19" (VD) 49°50'51" (SŠ)	
nadmořská výška		266 m.n.m.
výška anténního systému		40 m
vysílané multiplexy:		
	MUX1 (54. kanál, 738 MHz)	ERP 10 kW
	MUX2 (39. kanál, 618 MHz)	ERP 10 kW
	MUX3 (32. kanál, 562 MHz)	ERP 2 kW
polarizace		horizontální
šířka pásma		8 MHz
vysílací mód		COFDM 8k
ochranný interval		1/4
kódový poměr		2/3
modulace		64QAM
celková bitová rychlost na multiplex		19,1 Mbit/s

Tab. 9: Parametry DVB-T vysílače Ostrava – Hladnov [11], [12]



Obr. 9: Vysílač DVB-T Ostrava – Hošťálkovice [15]

DVB-T vysílač Ostrava - Hošťálkovice		
poloha	18°12'45" (VD) 49°51'41" (SŠ)	
nadmořská výška	287 m.n.m.	
výška anténního systému	110 m	
vysílané multiplexy:		
MUX1 (54. kanál, 738 MHz)	do 31.10.2009 - ERP 15,8 kW	
MUX1 (54. kanál, 738 MHz)	od 1.11.2009 - ERP 100 kW	
polarizace	horizontální	
šířka pásma	8 MHz	
vysílací mód	COFDM 8k	
ochranný interval	1/4	
kódový poměr	2/3	
modulace	64QAM	
celková bitová rychlost na multiplex	19,1 Mbit/s	

Tab. 10: Parametry DVB-T vysílače Ostrava – Hošťálkovice [11], [12]

Samotné složení multiplexů je uvedeno v *tab. 11*.

Složení	Televizní vysílání	Rozhlasové vysílání
MUX1	ČT1, ČT2, ČT4, ČT24	ČRo1, ČRo2, ČRo3, ČRo6, D-dur, Leonardo, Rádio Česko, Rádio Wave
MUX2	Nova, Nova Cinema, Prima, Prima Cool, TV Barrandov	-
MUX3	Z1, Public TV	-

Tab. 11: Programové složení multiplexů [11], [12]

Z důvodu navyšování výkonu na vysílači Ostrava – Hošťálkovice k 1.11.2009 byla jedinečná možnost provést simulaci pokrytí signálem DVB-T okolního území jak signálem s ERP 15,8 kW, tak signálem s ERP 100 kW. Proto proběhla simulace s původními charakteristikami vyzařovacích diagramů antén a původním výkonem 15,8 kW. Následně byla vytvořena simulace pokrytí stejného území signálem s ERP 100 kW a jinými vyzařovacími charakteristikami antén, které nahradily původní anténní systém. Výměna anténních prvků je zachycena na fotografii na *obr. 10*. Všechny provedené simulace byly následně prakticky ověřeny měřením, které je popsáno v kapitole 7.



Obr. 10: Výměna anténního systému v Ostravě – Hošťálkovicích [16]

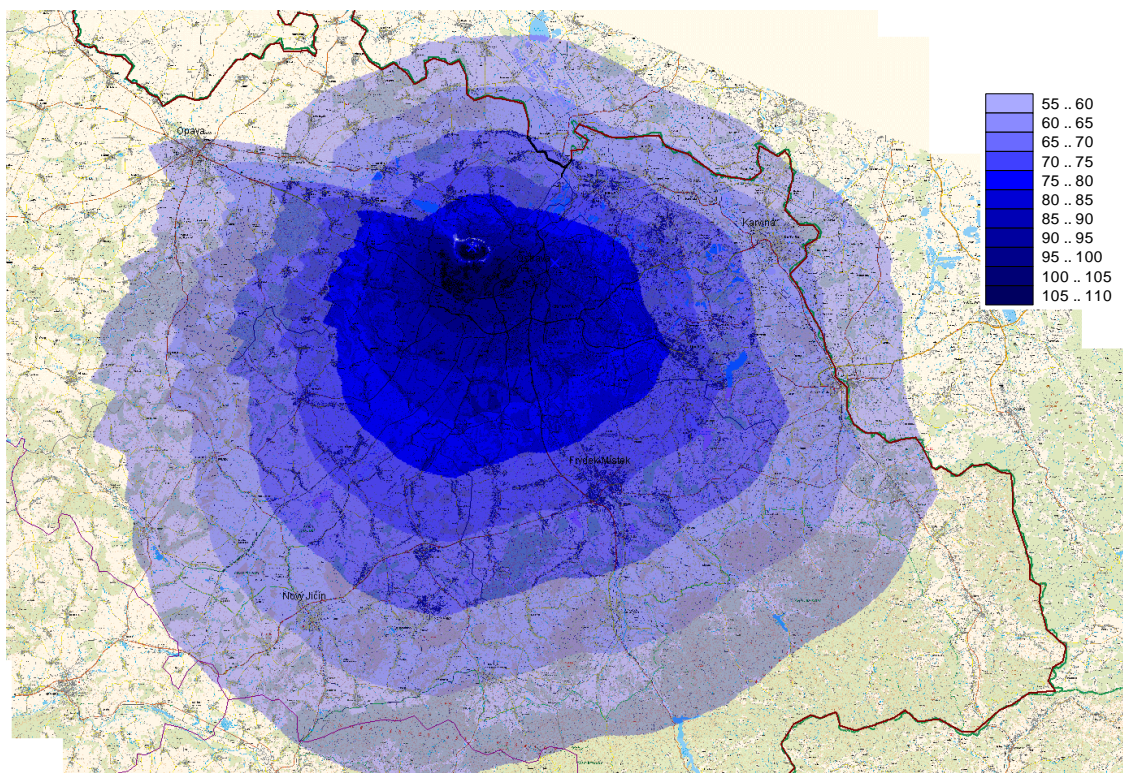
6.4 Simulační modely pokrytí území signálem DVB-T

Pro nastavené parametry vybraných vysílačů dle obrázků *obr. 6* a *obr. 7* a podle základních údajů o vysílačích z tabulek *tab. 9* a *tab. 10* je již možné provést výpočet pokrytí území signálem DVB-T, který je následně možné znázornit na mapce v mapovém serveru. Takto získanou mapku je dále možné prokládat dalšími mapami a vytvářet simulační model pro větší územní celek s více vysílači.

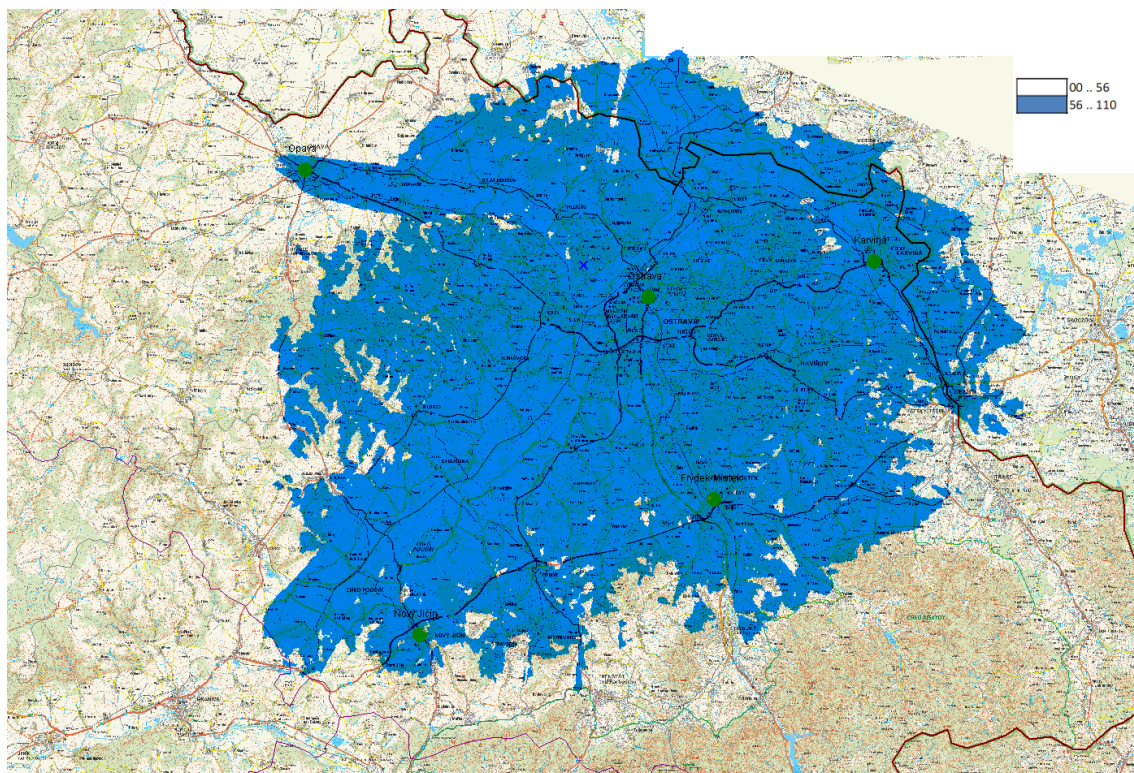
6.4.1 Simulační modely pokrytí území signálem DVB-T Ostrava - Hošťálkovice

Jako první byla provedena simulace pokrytí území pozemním signálem DVB-T z vysílače Ostrava – Hošťálkovice, a to pro první multiplex MUX1. Mapa úrovní signálu je na obrázku *obr. 11* a byla platná pro efektivní vyzářený výkon ERP 15,8 kW spolu se starým anténním systémem, který byl demontován na konci října 2009, jak je patrné z obrázku *obr. 10*.

První multiplex MUX1 je z Ostravy – Hošťálkovic vysílán na kanále č. 54 s frekvencí 738 MHz a tomu dle tabulky *tab. 6* odpovídá předepsaná minimální úroveň přijímaného signálu 56 dB μ V/m, pro kterou byla simulace pokrytí DVB-T signálem dle rádiové viditelnosti provedena ve druhém kroku a která je zobrazena na obrázku *obr. 12*.



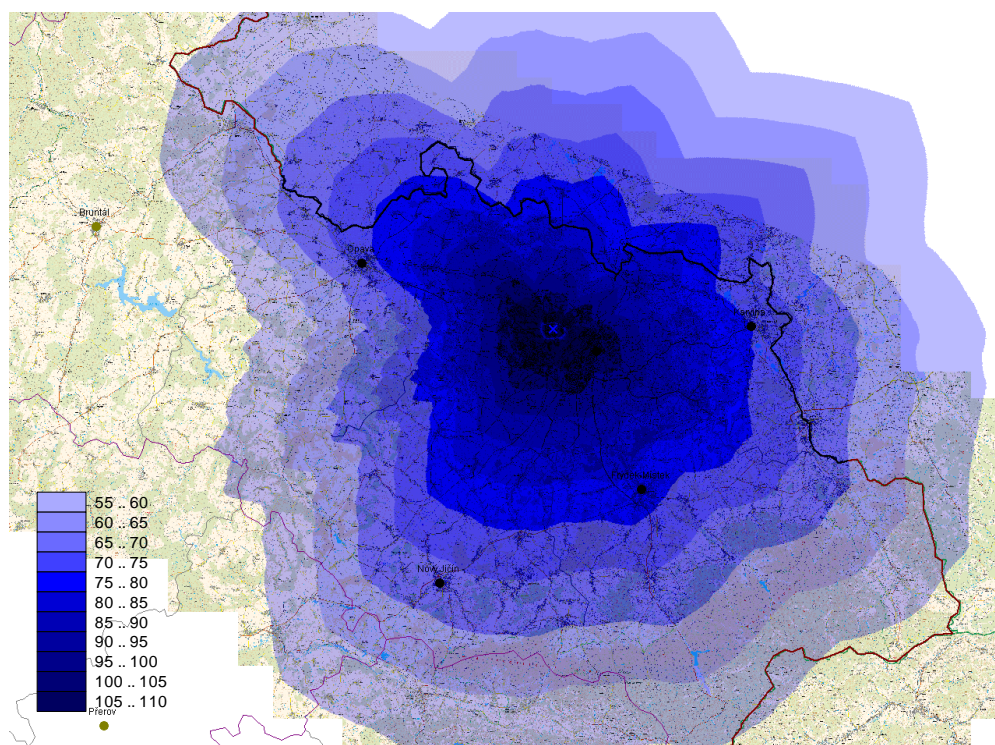
Obr. 11: Mapa úrovní signálu multiplexu MUX1 z Ostravy – Hošťálkovic při ERP 15,8 kW



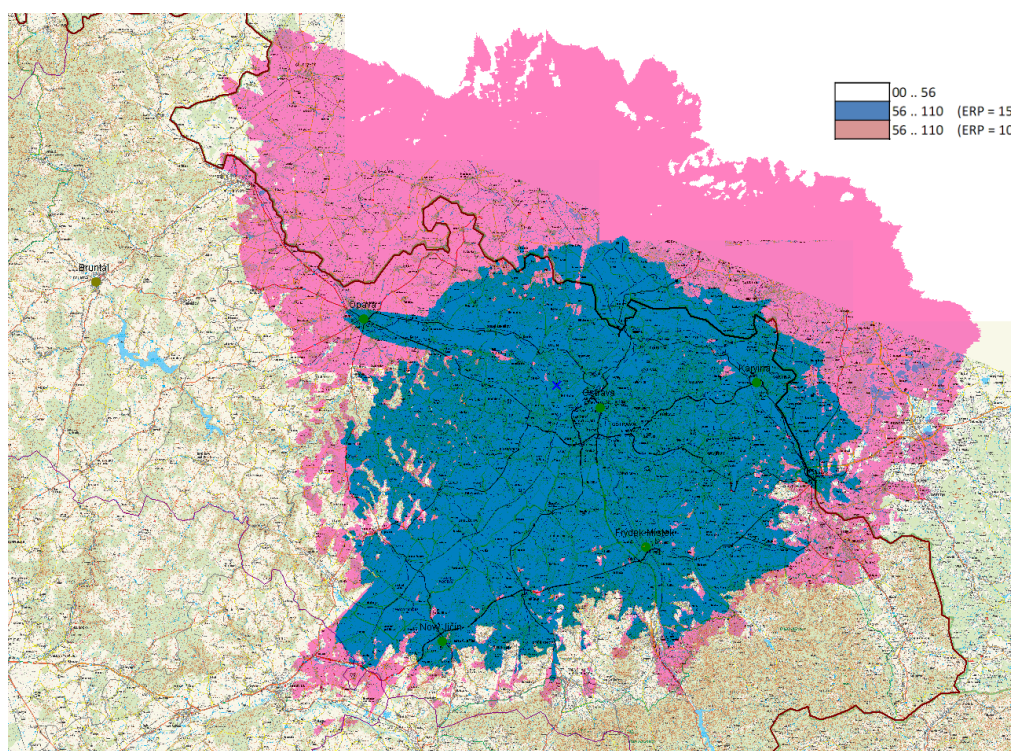
Obr. 12: Mapa pokrytí minimálním signálem 56 dBμV/m multiplexu MUX1 z Ostravy – Hošťálkovic při ERP 15,8 kW

Z obou simulačních modelů je patrné, že distributor signálu DVB-T se snažil pokrýt především hustě zalidněné oblasti a dle vyzařovací charakteristiky anténního systému i oblast Opavska. Při efektivně vyzářeném výkonu 15,8 kW je zásah signálu na území cizího státu, v tomto případě Polska, jen minimální.

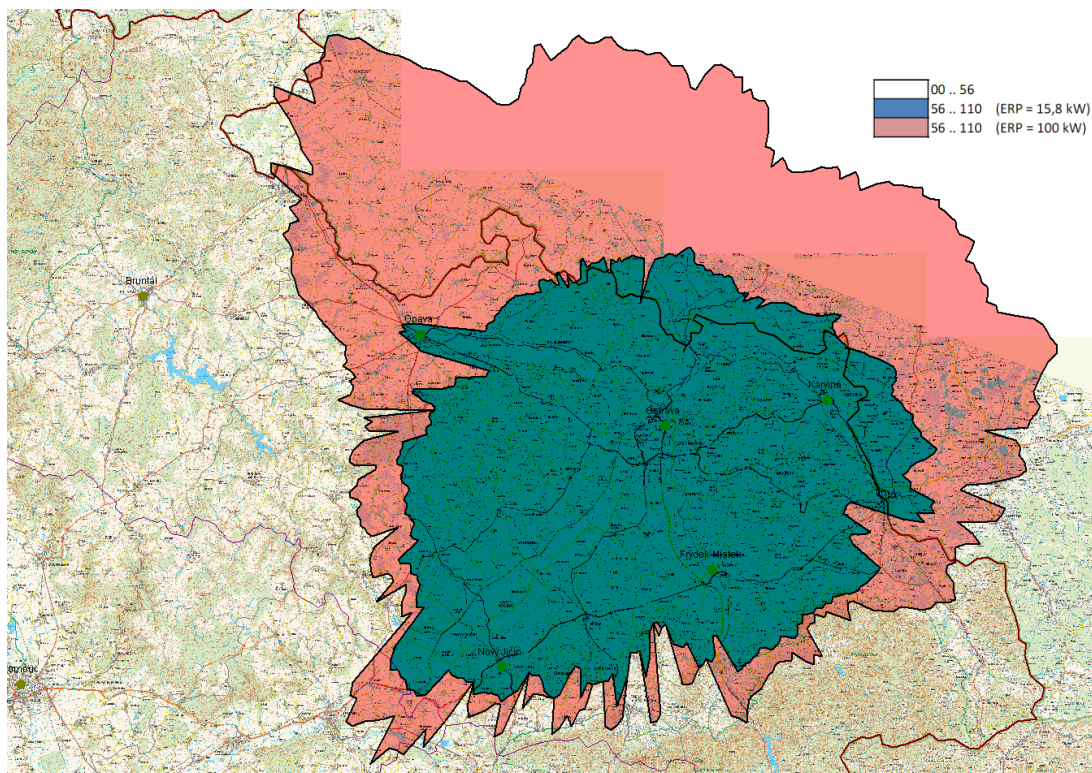
Ve druhé části byla simulace provedena pro tentýž vysílač Ostrava – Hošťálkovice, avšak již s efektivním vyzářeným výkonem 100 kW a jinou vyzařovací charakteristikou anténního systému, který byl vyměněn za nový. Mapa úrovní signálu je opět na obrázku *obr. 13* a mapa rádiové viditelnosti na obrázku *obr. 14*, která je doplněna o původní slabší signál s ERP 15,8 kW pro lepší přehled o rozdílném pokrytí daného území. Pro snazší určení hranic signálu DVB-T je ještě přiložena mapa spádové křivky pro úroveň signálu před i po navýšení efektivního vyzářeného výkonu, který je na obrázku *obr. 15*. Kmitočty i minimální úrovně signálu DVB-T zůstávají shodné.



Obr. 13: Mapa úrovní signálu multiplexu MUX1 z Ostravy – Hošťálkovic při ERP 100 kW



Obr. 14: Srovnání pokrytí minimálním signálem 56 dBμV/m multiplexu MUX1 z Ostravy – Hošťálkovic



Obr. 15: Srovnání spádových křivek pro signál 56 dB μ V/m multiplexu MUX1 z Ostravy – Hošťálkovic

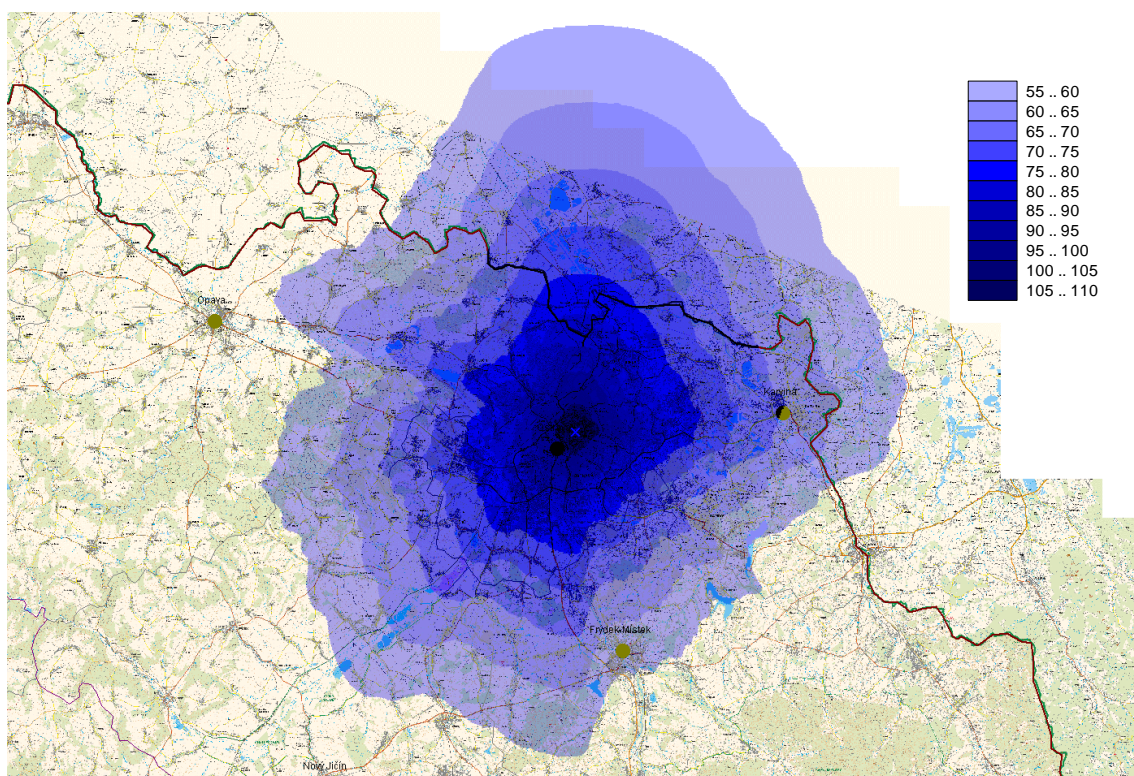
Při efektivním vyzářeném výkonu 100 kW se již plně projevuje zásah signálu DVB-T na území Polska, které má v pohraničních oblastech rovinatou krajinu, zatímco zvýšení dosahu dále na české území již není tolik markantní. Navýšením výkonu bylo lépe pokryto území Opavska a došlo k vykrytí lokalit, které byly při nižším efektivně vyzářeném výkonu bez signálu či s velice slabým signálem, což je patrné na mapce v obrázku obr. 14.

6.4.2 Simulační modely pokrytí území signálem DVB-T Ostrava - Hladnov

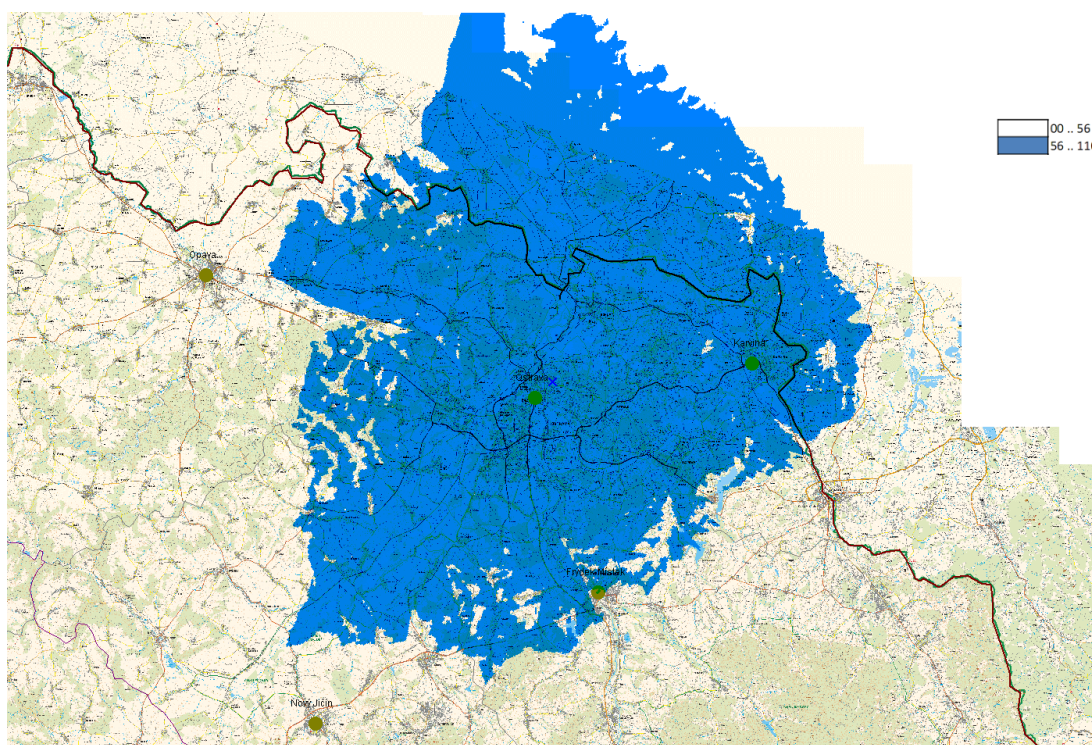
Další simulace pokrytí signálem DVB-T probíhaly z druhého ostravského vysílače v Hladnově. Zde již nedošlo k rozdílům v efektivním vyzářeném výkonu, který činil pro multiplex MUX1 a MUX2 společně 10 kW a pro MUX3 jen 2 kW. Multiplex MUX1 v Ostravě – Hladnově tvoří spolu s vysílačem Ostrava – Hošťálkovice jednofrekvenční síť SFN, která bude v roce 2011 doplněna o další vysílač s multiplexem MUX1, a to Frýdek – Místek na Lysé Hoře

v Beskydech. Pro multiplex MUX1 platí minimální úroveň signálu, stejně jako u vysílače Ostrava – Hošťálkovice 56 dB μ V/m, avšak tato hodnota se mění pro druhý multiplex MUX2, který vysílá na 39. kanále s frekvencí 618 MHz na hodnotu 55 dB μ V/m dle tabulky *tab. 6*. Třetí multiplex MUX3, vysílající se sníženým efektivně vyzářeným výkonem na 2 kW, distribuuje signál na 32. kanále s frekvencí 562 MHz a tomu odpovídá minimální úroveň signálu DVB-T 54 dB μ V/m.

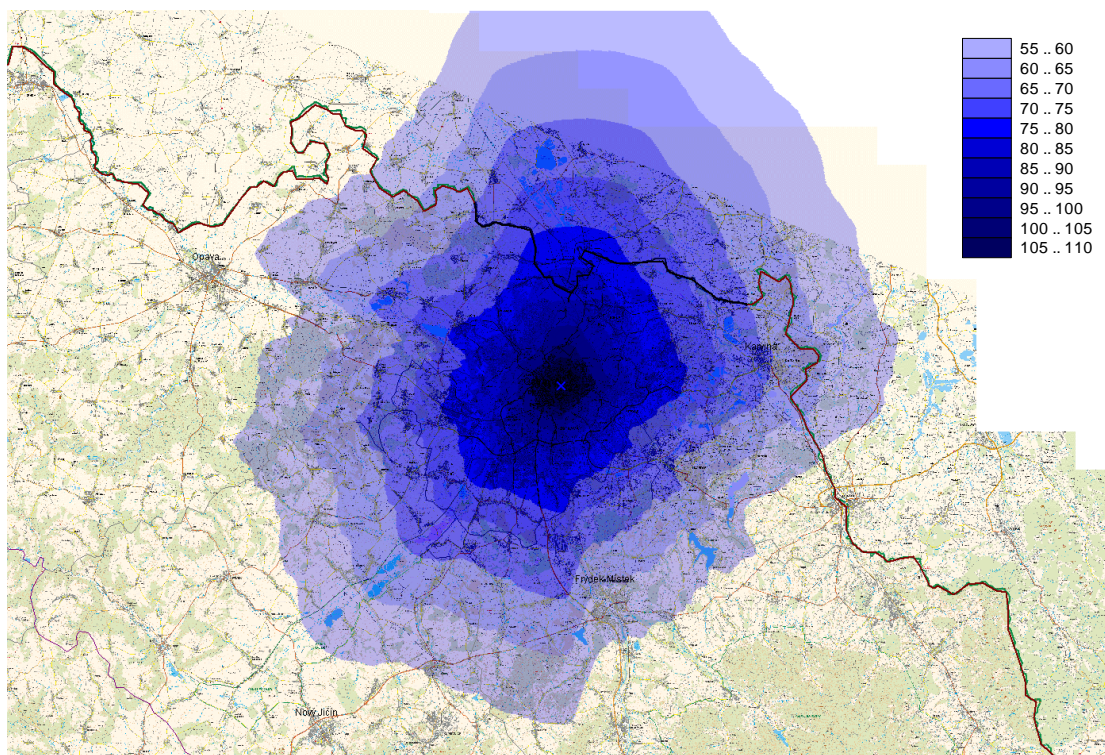
Pro tyto simulace byla zhotovena mapa pokrytí daného území a rádiová viditelnost. Na obrázku *obr. 16* je zachycena simulace úrovně signálu DVB-T z Ostravy - Hladnova pro MUX1 a na mapce *obr. 17* rádiová viditelnost. Simulace multiplexu MUX2 z Ostravy – Hladnova je na obrázku *obr. 18* a rádiová viditelnost na mapce *obr. 19*.



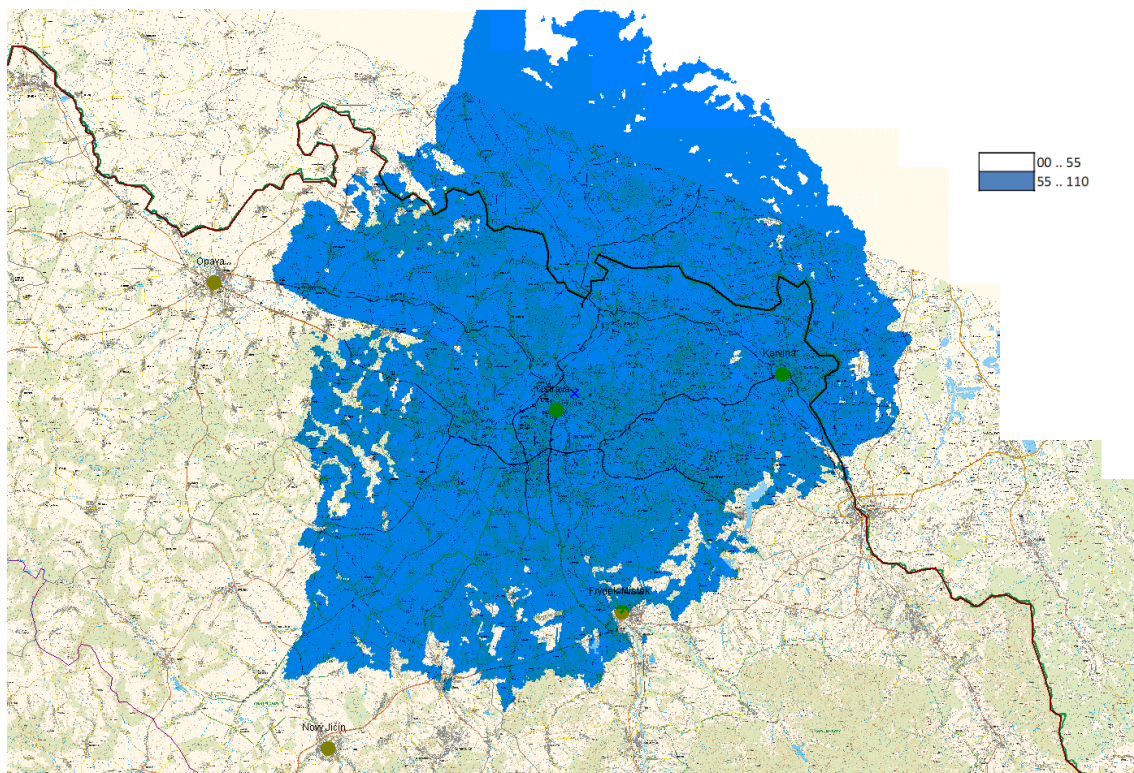
Obr. 16: Mapa úrovně signálu multiplexu MUX1 z Ostravy – Hladnova při ERP 10 kW



Obr. 17: Mapa pokrytí minimálním signálem 56 dBμV/m multiplexu MUX1 z Ostravy – Hladnova při ERP 10 kW



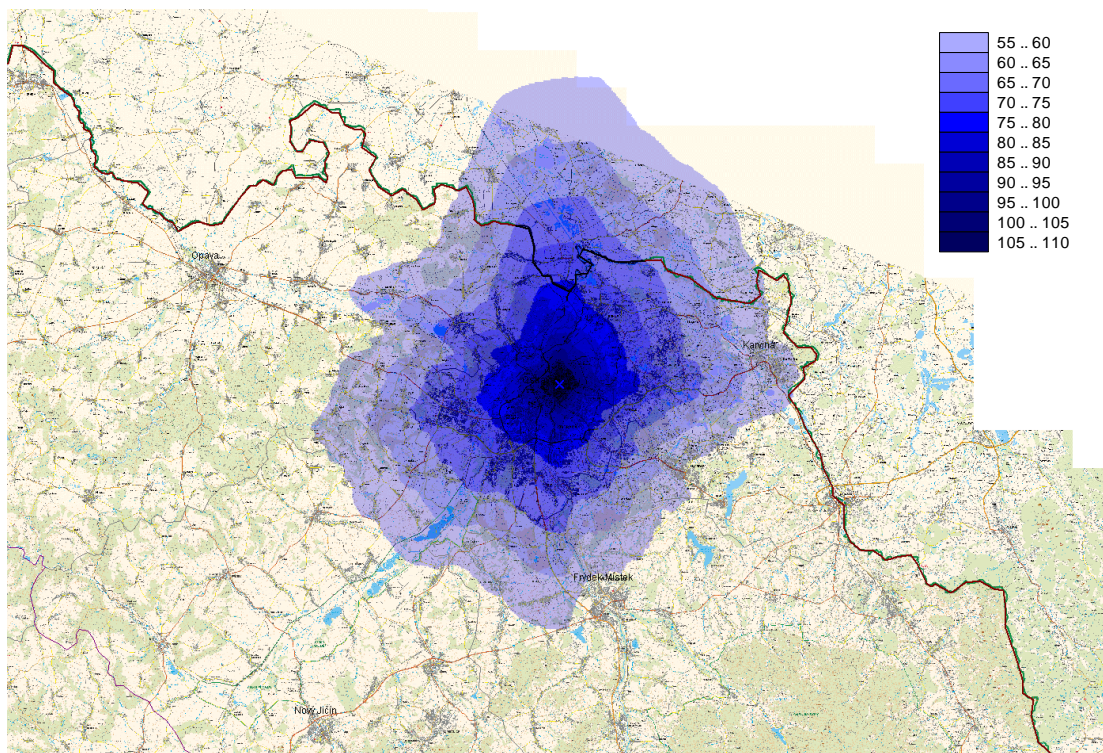
Obr. 18: Mapa úrovní signálu multiplexu MUX2 z Ostravy – Hladnova při ERP 10 kW



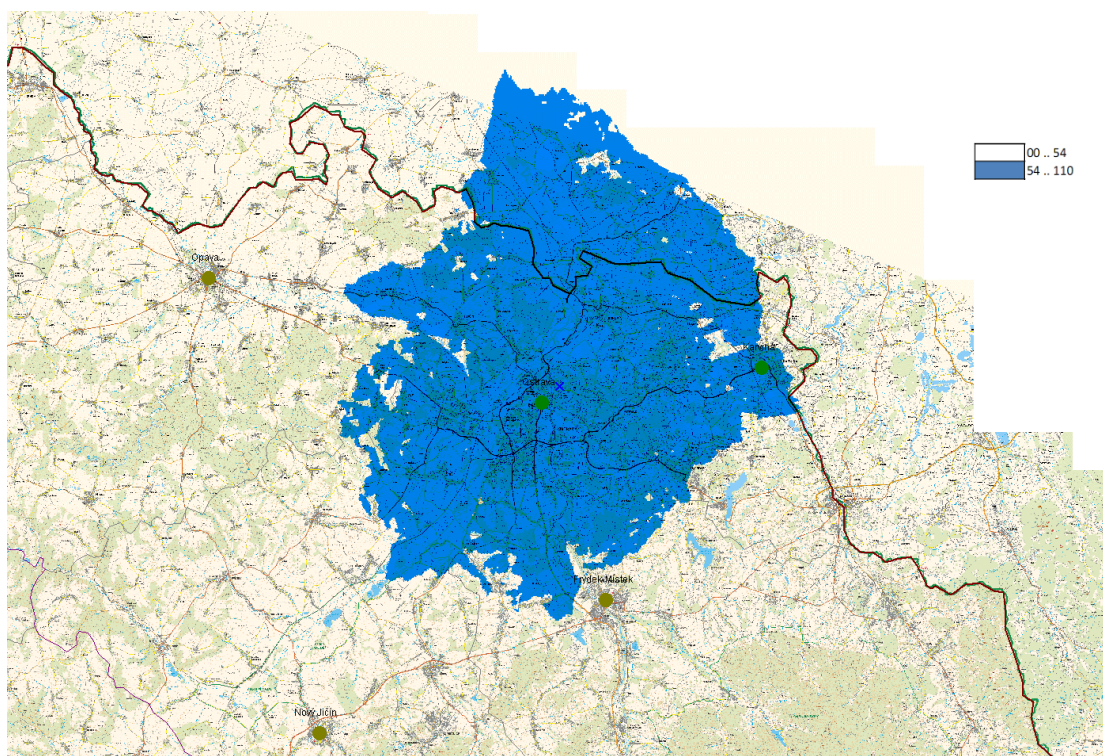
Obr. 19: Mapa pokrytí minimálním signálem 55 dBμV/m multiplexu MUX2 z Ostravy – Hladnova při ERP 10 kW

Jelikož je pro vysílač Ostrava – Hladnov vyzařovací charakteristiky multiplexu MUX1 a multiplexu MUX2 velice podobné, jsou i mapy pokrytí signálem DVB-T téměř shodné. Vyzařovací charakteristiky jsou v tomto případě téměř kruhové. Na rozdíl od vysílače Ostrava – Hošťálkovice je vysílač Ostrava – Hladnov postaven sice v nižší nadmořské výšce, ale je umístěn nad centrem Ostravy a celkově je blíže polské státní hranici. Z tohoto důvodu signál DVB-T již při efektivně vyzářeném výkonu 10 kW silně zasahuje na polské území.

Simulace multiplexu MUX3, který pracuje s nižším efektivním vyzářeným výkonem, a to 2 kW z Ostravy – Hladnova, je na obrázku *obr. 20* a rádiová viditelnost na mapce v obrázku *obr. 21*. I zde je vyzařovací charakteristika anténního systému velice podobná multiplexům MUX1 a MUX2, tedy téměř kruhová. Zde je přesah signálu DVB-T do Polska díky nižšímu efektivně vyzářenému výkonu menší.



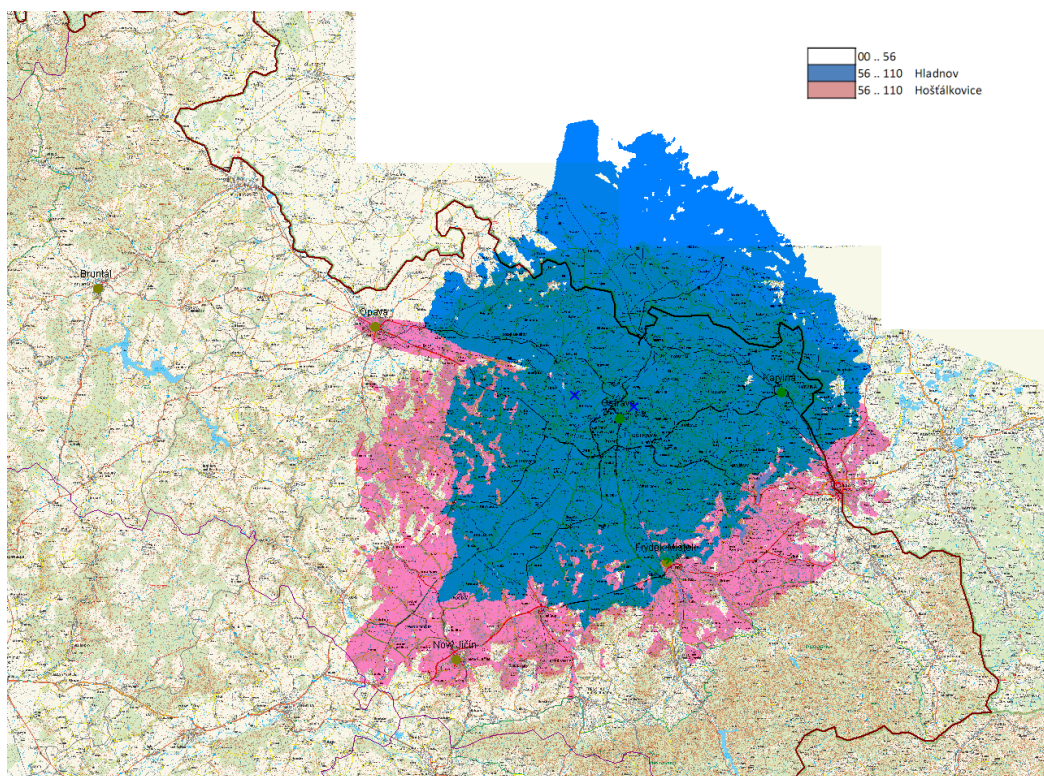
Obr. 20: Mapa úrovně signálu multiplexu MUX3 z Ostravy – Hladnova při ERP 2 kW



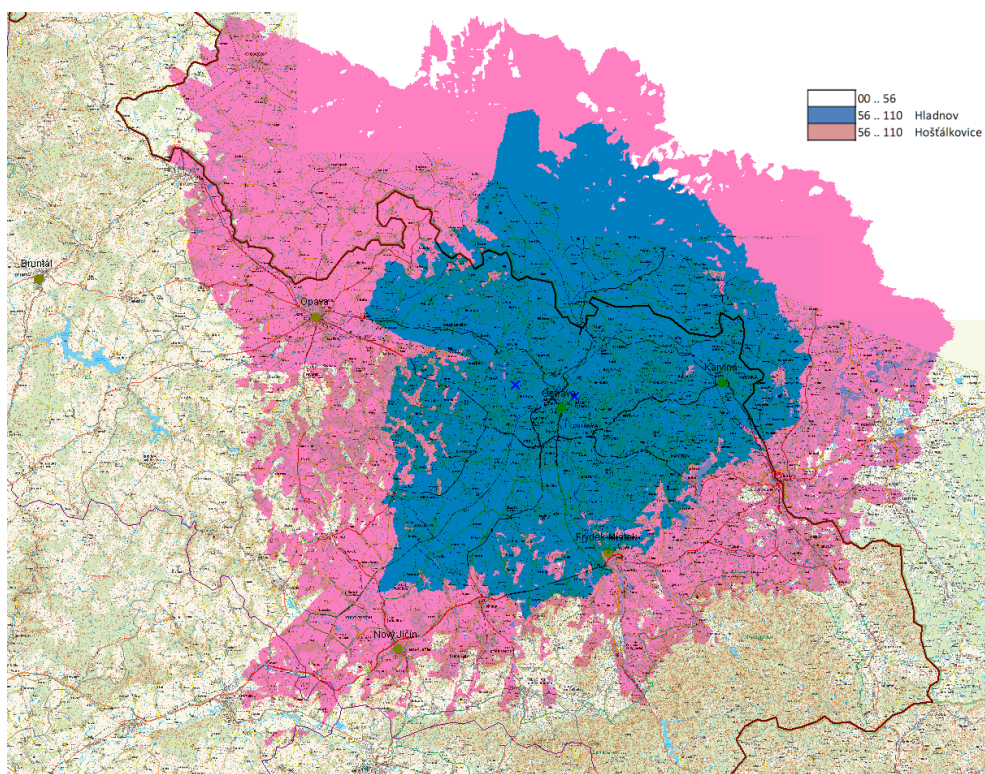
Obr. 21: Mapa pokrytí minimálním signálem 54 dBμV/m multiplexu MUX3 z Ostravy – Hladnova při ERP 2 kW

6.4.3 Simulační modely překrytí území signálem DVB-T sítě SFN

Vysílače tvořící současnou jednokmitočtovou síť SFN na kanále č. 54 představují vysílače Ostrava - Hošťálkovice a Ostrava – Hladnov. Na výstupech ze simulačního softwaru RadioLab jsou zachyceny mapky překrytí jejich signálů DVB-T před navýšením efektivního vyzářeného výkonu, tedy s ERP z Hošťálkovic 15,8 kW a Hladnova 10 kW, které zachycuje obrázek *obr. 22* a po navýšení efektivního vyzářeného výkonu z Hošťálkovic na 100 kW a původního výkonu 10 kW z Hladnova, které jsou na obrázku *obr. 23*.



Obr. 22: Rádiová viditelnost sítě SFN multiplexu MUX1 na 54. kanálu s ERP 15,8 kW a 10 kW



Obr. 23: Rádiová viditelnost sítě SFN multiplexu MUX1 na 54. kanálu s ERP 100 kW a 10 kW

U obou simulačních modelů je třeba upozornit, že se nejedná o signál sítě SFN, nýbrž o překrytí signálů DVB-T ze dvou vysílačů v Ostravě. Simulace jednokmitočtové sítě SFN se provádí v samostatné nadstavbě simulačního softwaru RadioLab 3.5.0, která však nebyla součástí zadání této práce, a proto zde není podrobně nasimulována a rozvedena.

7 Měření signálu DVB-T

Pro měření signálů DVB-T na území České republiky opět platí *vyhláška č. 163/2008 ze dne 30. dubna 2008 o způsobu stanovení pokrytí signálem zemského televizního vysílání* [1], kterou vydal Český telekomunikační úřad a která je uvedena v příloze č. CD1.

7.1 Měření signálu DVB-T - legislativa

Tato vyhláška přesně vymezuje pojmy nejen pro simulaci pokrytí výpočtem, ale i pro ověření těchto parametrů měření. Zde je uveden výňatek z *vyhlášky č. 163/2008* [1] pro měření signálu DVB-T na zvoleném území, který specifikují § 8, 9 a 12.

§ 8 Ověření výsledků výpočtu měřením

1. Měření k ověření výsledku výpočtu se provádí zejména v případě
 - a) Posuzování signálu z jednoho vysílače zejména v okrajových oblastech území pokrytého signálem tohoto vysílače.
 - b) Posuzování signálu z více vysílačů zejména v členitém horském terénu, na částech území zastíněných terénními překážkami, vysokými budovami a podobně.
2. V případech, kdy bylo provedeno měření, jsou pro posouzení pokrytí území televizním signálem směrodatné výsledky měření intenzity signálu zemského televizního vysílání a subjektivního hodnocení jeho kvality.

§ 9 Měření intenzity a subjektivní hodnocení kvality signálu

1. Měření intenzity se provádí měřicí soupravou s měřicí anténou a subjektivní hodnocení kvality signálu se posuzuje na televizním přijímači připojeném na anténu pro hodnocení kvality signálu.
5. Měření intenzity a subjektivní hodnocení kvality přijímaných signálů zemského televizního vysílání se provádí na měřících bodech.

6. Měřicí body pro měření intenzity a subjektivní hodnocení kvality signálu se volí s ohledem na členitost terénu a zástavby v obci na místech, která nejsou v těsné blízkosti překážek nebo objektů, zastiňujících směr k vysílači, jehož signál je měřen, a nejsou ovlivněna nadzemním metalickým vedením a dalšími vlivy.
7. Měření intenzity a subjektivní hodnocení kvality signálu se provádí
 - a) Ve výšce 10 m nad terénem, pokud touto vyhláškou není stanoveno jinak.
 - b) Na střechách budov v případech, kdy výškové ohraničení staveb přesahuje výšku 10 m nad terénem.
8. V případech, kdy je změřená hodnota intenzity pro zemské digitální televizní vysílání nižší než hodnota intenzity uvedená v tabulce *tab. 6*, je pro vyloučení možnosti měření v lokálním minimu, vzniklém vlivem vícecestného šíření televizních signálů, třeba zjistit maximální hodnotu intenzity při horizontální změně umístění měřicí antény o nejméně 1 m. Nasměrováním měřicí antény na měřený vysílač analogové televize nebo na signál s nejlepším subjektivním hodnocením kvality signálu DVB-T se zjistí závislost intenzity na změně výšky měřicí antény v rozmezí 5 m až 10 m. Ze zjištěných hodnot se vybere maximální hodnota intenzity.
10. Údaje o měřicím bodě, datu, době a dalších podmínkách měření se spolu s naměřenými hodnotami intenzity a údaji o subjektivním hodnocení kvality přijímaných signálů zemského televizního vysílání zaznamenávají do tabulky záznamu měření.

§ 12 Měření a vyhodnocení pokrytí území pokrytého signálem zemského digitálního televizního vysílání

2. Měřicí anténa se nastavuje ve směru, ze kterého je přijímán signál zemského digitálního televizního vysílání s nejlepším subjektivním hodnocením kvality.
3. Na měřicím bodě se kontroluje na analyzátoru spektra tvar spektra přijímaného signálu. V případě, že se provádí měření měřicím přijímačem, provede se měření modulační chybovosti (MER), případně též bitové chybovosti (BER).
4. Oblast v okolí měřicího bodu je považována za pokrytou, pokud naměřená intenzita dosahuje hodnot minimální intenzity podle tabulky *tab. 6*.
5. V případě, že se jedná o měření na střechách budov, je oblast v okolí měřicího bodu považována za pokrytou, pokud naměřená intenzita dosahuje hodnot minimální intenzity podle tabulky *tab. 6*.

7.2 Vytypované body měření signálu DVB-T

Na základě simulace pro první multiplex MUX1 vysílaný z Ostravy - Hošťálkovic s efektivním vyzářeným výkonem 15,8 kW byla vytipována místa, tedy body měření, které se nacházely poblíž hranice minimální intenzity signálu pro 54. kanál při 738 MHz, tedy na úrovni 56 dB μ V/m. Jelikož byl k 1.11.2009 navýšen efektivní vyzářený výkon prvního multiplexu MUX1 vysílaného z Ostravy – Hošťálkovic na ERP 100 kW, byly tyto lokality změřeny po navýšení výkonu ještě jednou a získaná data byla srovnána s počítačovou simulací pokrytí signálem DVB-T modelované softwarem RadioLab 3.5.0.

Všechna měření proběhla s pevnou přijímací směrovou anténou s minimálním ziskem 12 dB v V. televizním pásmu, která byla umístěná vně budovy v úrovni střechy ve výšce minimálně 10 m nad úrovní okolního terénu.

Do měření byly zahrnuty všechny nalezené a dostupné multiplexy na Ostravsku, kterých bylo celkem 6. Jednalo se o celoplošné multiplexy MUX1, MUX2 a MUX3, jejichž složení je uvedeno v tabulce *tab. 11*, dále o multiplex MUX4 na kanále č. 63 vysílaný na frekvenci 810 MHz se zkušebním provozem a kompresí MPEG4, o regionální vysílač společnosti B+TV Klimkovice s lokálním zpravodajstvím na kanálu č. 28 a frekvencí 530 MHz a konečně o polský multiplex z Katowic na kanále č. 38 a frekvencí 610 MHz.

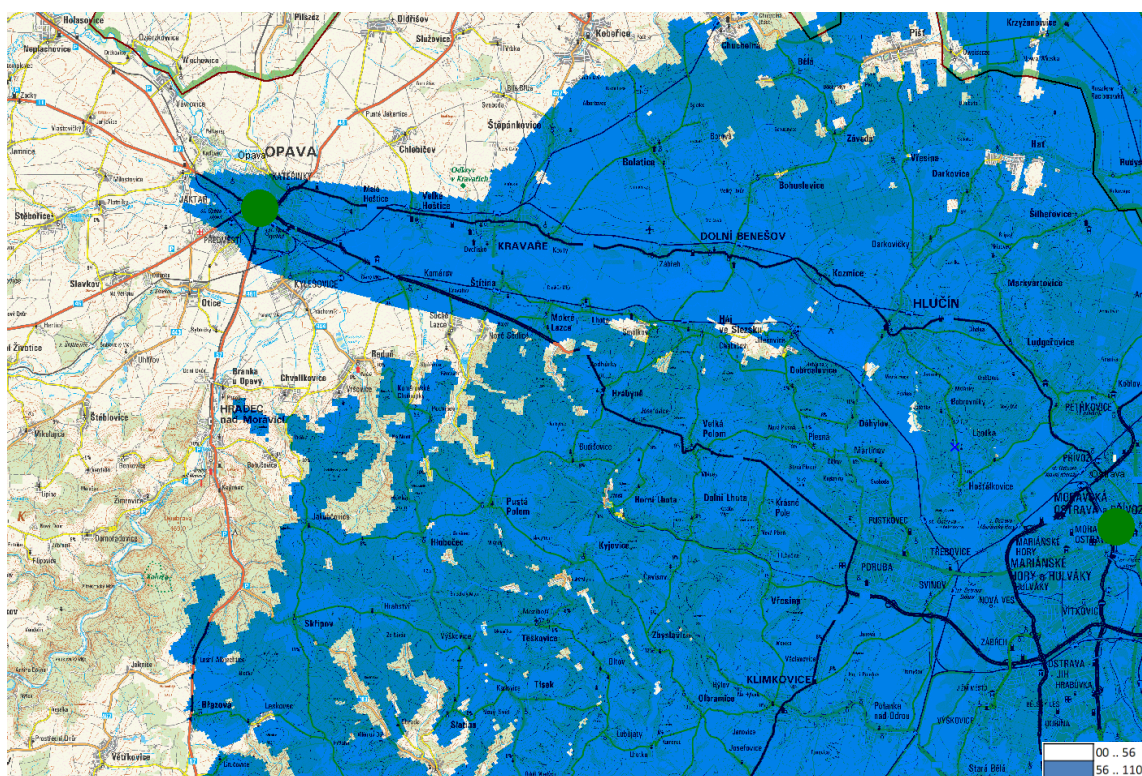
Z důvodu nízkých efektivních vyzařovacích výkonů multiplexů MUX4 a DVB-T vysílače společnosti B+TV v Klimkovicích, byly tyto multiplexy vyřazeny ze zpracování a simulací, neboť by jejich signál nebyl vůbec v regionu Opavska zachytitelný. Polský multiplex z Katowic byl sice v příhraničních oblastech zachytitelný, avšak z důvodu těsného sousedství s SFN vysílači multiplexu MUX1 a jejich vyššímu efektivnímu vyzářenému výkonu jej měřicí přístroj SEFRAM 7825 nebyl schopen zpracovat a tudíž byl z dalšího zpracování a simulací rovněž vyloučen. Pro úplný přehled je přiložena tabulka *tab. 12* všech dostupných multiplexů v regionu spolu s vysílacími kanály a frekvencemi.

Multiplex 1	Multiplex 2	Multiplex 3	Multiplex 4	Klimkovice	Katowice
kanál 54	kanál 39	kanál 32	kanál 63	kanál 28	kanál 38
738 MHz	618 MHz	562 MHz	810 MHz	530 MHz	610 MHz

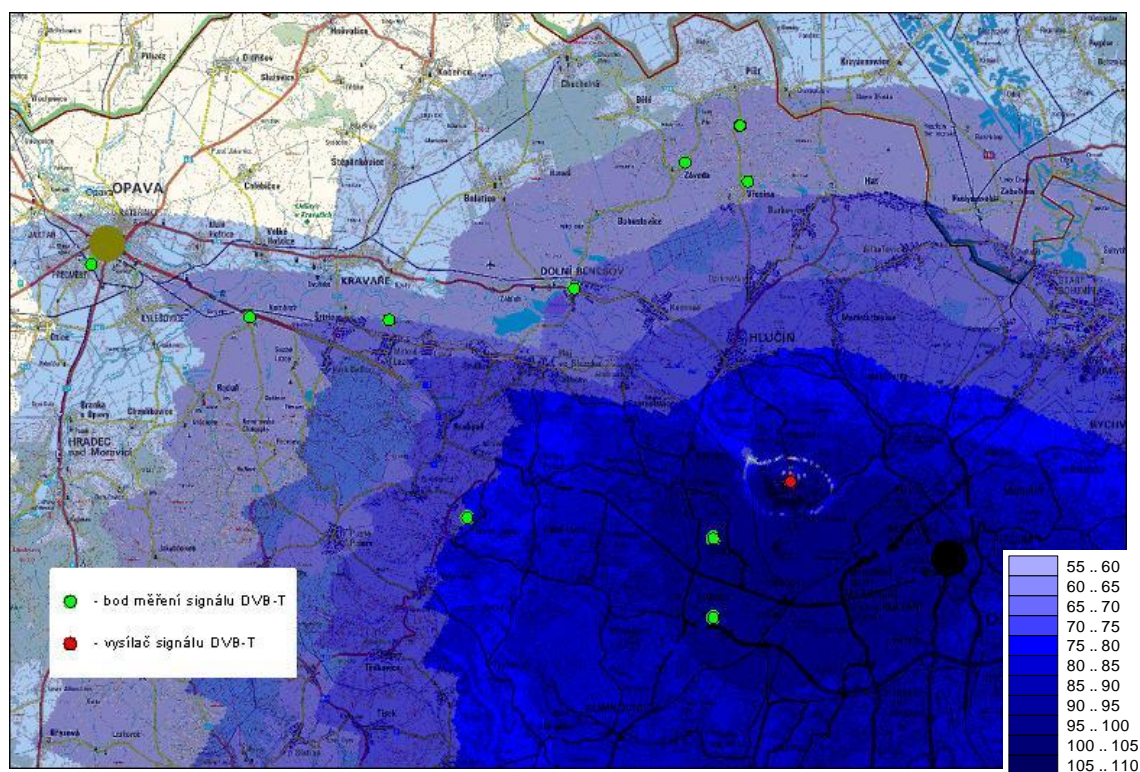
Tab. 12: Dostupné multiplexy v regionu a jejich kmitočty

Díky specifickému vyzářovacímu diagramu anténního systému na vysílači Ostrava – Hošťálkovice před jeho výměnou, který je patrný z obrázku rádiové viditelnosti signálu DVB-T *obr. 24* a v detailu na obrázku úrovní signálu *obr. 25* byla vytipována místa na Opavsku, kde byl předpoklad problematického příjmu signálu DVB-T.

Jelikož měřicí body byly záměrně vybrány především na hranicích úrovní intenzity signálu DVB-T v poměrně rozlehlé ploše a postup pro stanovení počtu měřících bodů by přesahoval rozdíl intenzit ΔE větší než 21 dB, bylo území rozděleno na samostatně posuzované části.



Obr. 24: Detail rádiového pokrytí multiplexu MUX1 při ERP 15,8 kW pro oblast Opavska



Obr. 25: Detail úrovně signálu multiplexu MUX1 při ERP 15,8 kW pro oblast Opavska s vytypovanými měřicími body

Přehled vytypovaných lokalit, tedy měřících bodů spolu s polohou v souřadném systému WGS84 v tabulce tab. 13.

Č. měření	Lokalita měření	Souřadnice GPS	
		N	E
1	Dolní Benešov, Nádražní 157	49°55,213	18°06,929
2	Opava-Komárov, Ostravská 54	49°54,998	17°58,026
3	Mokré Lazce, Doškův mlýn 118	49°54,847	18°01,853
4	Opava, Rooseveltova 2	49°55,974	17°53,802
5	Ostrava, G. Klimenta 494	49°49,411	18°10,342
6	Ostrava, Na Robinsonce 1643	49°50,725	18°10,575
7	Píšť, nad obcí	49°58,048	18°11,662
8	Ostrava, Vaňkův kopec	49°51,273	18°03,770
9	Vřesina, Havířská 13	49°57,023	18°11,866
10	Závada, horní část obce	49°57,394	18°10,187

Tab. 13: Poloha vytypovaných měřících bodů

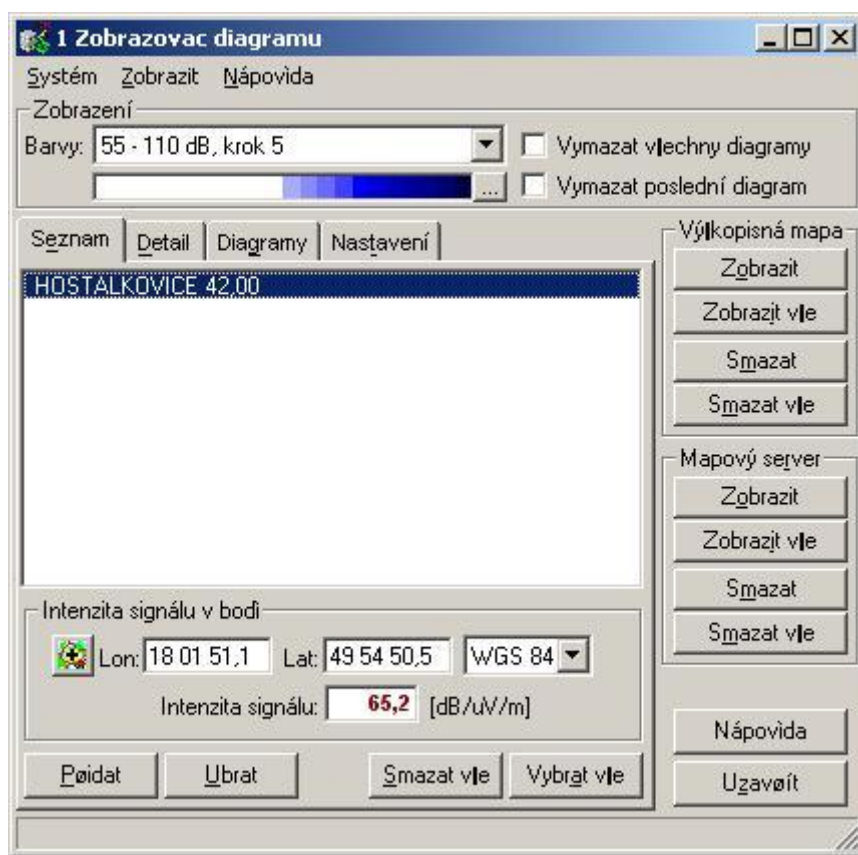
7.3 Intenzita signálu DVB-T ve vytypovaných měřících bodech

Z provedené simulace pro všechny multiplexy a známé polohy měřících bodů byla stanovena intenzita signálu DVB-T výpočtem ze softwaru RadioLab 3.5.0, jejíž výsledky jsou uvedeny v příložené tabulce *tab. 14* a udávají teoretické hodnoty úrovně pozemního signálu DVB-T v jednotkách dB μ V/m.

Č. měření	Lokalita měření	MUX 1	MUX 1	MUX 2	MUX 3
		ERP=15,8 kW	ERP=100 kW	ERP=10 kW	ERP=10 kW
		Intenzita E	Intenzita E	Intenzita E	Intenzita E
		[dB/ μ V/m]	[dB/ μ V/m]	[dB/ μ V/m]	[dB/ μ V/m]
1	Dolní Benešov, Nádražní 157	65,4	73,3	66,1	66,4
2	Opava-Komárov, Ostravská 54	63,4	71,4	50,7	51
3	Mokré Lazce, Doškův mlýn 118	65,2	73,3	55,8	56
4	Opava, Rooseveltova 2	58,1	66,1	46,4	46,6
5	Ostrava, G. Klimenta 494	93,6	100,6	74,2	74,2
6	Ostrava, Na Robinsonce 1643	97,6	103,2	74,9	75
7	Píšť, nad obcí	61,8	69,1	64,5	64,7
8	Ostrava, Vaňkův kopec	75	82,9	62,3	62,4
9	Vřesina, Havířská 13	64,1	72	66,3	66,4
10	Závada, horní část obce	61,9	69,9	62,9	63

Tab. 14: Modelová úroveň DVB-T signálu ve vytypovaných měřících bodech dle simulačního softwaru RadioLab 3.5.0

Příklad stanovení vypočtené hodnoty úrovně signálu DVB-T ze simulačního modelu vytvořeném v softwaru RadioLab je uveden na následujícím obrázku *obr. 26* a zachycuje intenzitu v měřícím bodě Mokré Lazce, v souřadném systému WGS84, pro první multiplex MUX1 při efektivním vyzáření výkonu 15,8 kW.



Obr. 26: Zjištění úrovně DVB-T signálu v měřícím bodě Mokré Lazce při ERP 15,8 kW

7.4 Měření signálů DVB-T a použitá měřící sestava

K vlastnímu měření byl použit měřící přístroj SEFRAM 7825 spolu s anténou TELEVES 1044 a 75 Ω koaxiálním kabelem. Anténní souprava čítající samotnou anténu a koaxiální kabel byla umístěna na přenosném stožáru, který byl lehký a skládací do maximální výše 2,5 m. Stožár byl vzhledem ke svým kompaktním rozměrům použit při měření na střechách budov, což zachycuje snímek obr. 27.



Obr. 27: Přenosný stožár do výšky 2,5 m (měřicí bod Dolní Benešov)

Dle vyhlášky č. 163/2008 v příloze č. 1 [1] musí jak měřicí přístroj, tak směrová anténa splňovat definované podmínky. Kritéria pro měřicí přístroj jsou uvedena v tabulce tab. 15.

Kmitočtový rozsah	174 – 862 MHz
Přesnost měření úrovně	$\pm 2,0$ dB
Rozsah měření úrovně	20 – 100 dB μ V
Šířka pásma mezifrekvence	Automaticky volitelná podle kanálové rozteče 7/8 MHz
Detektor	RMS
Potlačení zrcadlových kmitočtů	➤ 70 dB
Potlačení mezifrekvenčního signálu	➤ 70 dB
Vstupní impedance	50 (75) Ω
Provozní teplota	+5 - +45° C

Tab. 15: Požadavky na měřicí přístroj dle vyhlášky č. 163/2008 [1]

Předepsané obecné parametry směrové přijímací antény jsou uvedeny v tabulce *tab. 16* a hodnoty zisku antény pro měřený kmitočet jsou v tabulce *tab. 17*.

Kmitočtový rozsah	174 – 862 MHz
Výstupní impedance	50 (75) Ω
Provozní teplota	-15 - +45° C

Tab. 16: Požadavky na měřicí anténu dle vyhlášky č. 163/2008 [1]

Zisk antény	Kmitočtový rozsah	TV pásmo
3,5 dB	48,5 – 66 MHz	I.
7 dB	174 – 230 MHz	III.
10 dB	470 – 582 MHz	IV.
12 dB	582 – 862 MHz	V.

Tab. 17: Požadovaný zisk měřicí antény dle vyhlášky č. 163/2008 [1]

Tyto podmínky vyhlášky č. 163/2008 [1] jak měřicí přístroj, tak přijímací anténa splňují a jejich technické parametry jsou uvedeny v příloze č. CD5 pro měřicí přístroj SEFRAM 7825 a v příloze č. CD6 pro směrovou přijímací anténu TELEVES 1044.

7.5 Výpočty intenzit signálů z naměřených hodnot

Získaná data hodnot intenzity signálu DVB-T však měřicí přístroj SEFRAM 7825, který lze zařadit i do skupiny spektrálních analyzátorů, udává v jednotkách [dB μ V], což představuje hodnotu napětí získanou na svorkách dipólu antény a svedenou koaxiálním kabelem do měřicího přístroje, avšak hodnota udávaná nejen simulačním softwarem RadioLab,

ale i vyhláškou č. 163/2008 [1] je udávána v jednotkách [dBμV/m], tedy s hodnotu intenzity elektrického pole.

Zde je nutno hodnoty získané měřením převést na hodnotu intenzity elektrického pole, což se děje pomocí hodnoty anténního faktoru AF a změřeným útlumem koaxiálního kabelu a_k . Hodnotu anténního faktoru AF získáme ze vztahu:

$$AF = \sqrt{\frac{480 \cdot \pi^2}{Z \cdot \lambda^2 \cdot G_r}} \quad [\text{m}^{-1}] \quad (2)$$

Když: Z ...impedance anténního systému [Ω]

λ ...vlnová délka [m]

G_r ...zisk antény [dB]

Hodnotu vlnové délky zjistíme z již uvedeného vztahu (1) v kapitole 5:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [\text{m}]$$

Když: c ...rychlost světla ve vakuu [m/s] (c je konstanta $2,99792458 \cdot 10^8$ m/s)

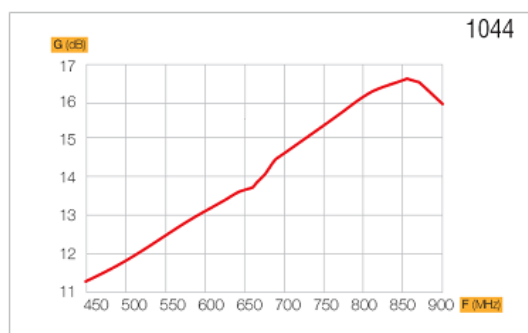
f ...frekvence [Hz]

Tedy: λ pro 32. kanál s frekvencí 562 MHz je $\lambda_{32} = 0,533$ m

λ pro 39. kanál s frekvencí 618 MHz je $\lambda_{39} = 0,485$ m

λ pro 54. kanál s frekvencí 738 MHz je $\lambda_{54} = 0,406$ m

Zisk přijímací antény zjistíme z grafu v technické specifikaci antény – viz. obrázek *obr. 28*:



Obr. 28: Závislost zisku přijímací antény na kmitočtu [17]

Tedy: zisk pro 32. kanál na frekvenci 562 MHz je $G_{r32} = 11,6 \text{ dB}$

zisk pro 39. kanál na frekvenci 618 MHz je $G_{r39} = 12,0 \text{ dB}$

zisk pro 54. kanál na frekvenci 732 MHz je $G_{r54} = 14,5 \text{ dB}$

Nyní je možno dokončit výpočet pro anténní faktor AF:

Tudíž: anténní faktor pro 32. kanál na frekvenci 562 MHz je $AF_{32} = 4,38 \text{ m}^{-1}$

anténní faktor pro 39. kanál na frekvenci 618 MHz je $AF_{39} = 4,73 \text{ m}^{-1}$

anténní faktor pro 54. kanál na frekvenci 738 MHz je $AF_{54} = 5,14 \text{ m}^{-1}$

Zjištění útlumu koaxiálního kabelu a_k proběhlo měřením dle *tab. 18* s následujícími hodnotami:

Útlum koaxiálního kabelu			
Kabel/kmitočet	738 MHz	618 MHz	562 MHz
3 m	- 3,3 dB	- 2,2 dB	- 2,2 dB

Tab. 18: Měření útlumu koaxiálního kabelu

Výsledná rovnice pro převod napěťových úrovní na dipólu antény v [dB μ V] získaná z měřicího přístroje SEFRAM 7825 na intenzitu elektrického pole v [dB μ V/m] ze simulačního modelu softwaru RadioLab 3.5.0 bude vypadat následovně:

$$E_{dB\mu V/m} = U_{dB\mu V} + AF + a_k \quad (3)$$

Měření útlumu koaxiálního kabelu a_k proběhlo v laboratoři na generátoru Rohde&Schwarz SMY01 a úroveň přijímaného signálu byla měřena na přístroji Rohde&Schwarz NRVS. Celá měřicí sestava je zachycena na obrázku *obr. 29*.



Obr. 29: Sestava na měření útlumu koaxiálního kabelu

7.6 Srovnání intenzit signálů ze simulace a z měření

Dle popsaného výpočtu anténního faktoru, změřeného útlumu koaxiálních kabelů a naměřených hodnot měřicím přístrojem SEFRAM 7825, je možné stanovit intenzitu signálu E v měřicím bodě. Přehled kompletních měření pro jednotlivé multiplexy je uveden v příloze č. B. V následující tabulce *tab. 19* je provedeno srovnání naměřených intenzit signálu DVB-T v SFN síti a intenzit získaných ze simulačního modelu softwaru RadioLab 3.5.0 pro multiplex MUX1 před zvýšením efektivního vyzářeného výkonu.

Lokalita měření	MUX1 do 31.10 2009		
	Měření	Simulace	Rozdíl
	E [dBμV/m]	E [dBμV/m]	E [dBμV/m]
Dolní Benešov, Nádražní 157	91,0	65,4	-25,6
Opava-Komárov, Ostravská 54	30,2	63,4	33,2
Mokré Lazce, Doškův mlýn 118	58,7	65,2	6,5
Opava, Rooseveltova 2	31,5	58,1	26,6
Ostrava, G. Klimenta 494	77,8	93,6	15,8
Ostrava, Na Robinsonce 1643	90,7	97,6	6,9
Píšť, nad obcí	44,3	61,8	17,5
Ostrava, Vaňkův kopec	85,9	75	-10,9
Vřesina, Havířská 13	56,8	64,1	7,3
Závada, horní část obce	56,1	61,9	5,8

Tab. 19: Srovnání intenzit signálů z měřicích bodů a simulačního modelu před navýšením ERP v Ostravě – Hošťálkovicích pro multiplex MUX1

Druhá tabulka *tab. 20* srovnává intenzity signálů získané ze simulačního modelu softwaru RadioLab 3.5.0 pro multiplex MUX1 s naměřenými hodnotami z měřicích bodů, avšak s již zvýšeným efektivním vyzářeným výkonem na 100 kW u vysílače Ostrava - Hošťálkovice. Multiplex MUX1 je také v tomto případě distribuován v jednokmitočtové síti SFN z vysílačů Ostrava - Hošťálkovice a Ostrava - Hladnov.

Lokalita měření	MUX1 po 1.11.2009		
	Měření	Simulace	Rozdíl
	E [dBμV/m]	E [dBμV/m]	E [dBμV/m]
Dolní Benešov, Nádražní 157	99,5	73,3	-26,2
Opava-Komárov, Ostravská 54	41,1	71,4	30,3
Mokré Lazce, Doškův mlýn 118	74,2	73,3	-0,9
Opava, Rooseveltova 2	51,4	66,1	14,7
Ostrava, G. Klimenta 494	73,6	100,6	27,0
Ostrava, Na Robinsonce 1643	94,9	103,2	8,3
Píšť, nad obcí	61,9	69,1	7,2
Ostrava, Vaňkův kopec	98,2	82,9	-15,3
Vřesina, Havířská 13	72,7	72	-0,7
Závada, horní část obce	62,4	69,9	7,5

Tab. 20: Srovnání intenzit signálů z měřicích bodů a simulačního modelu po navýšení ERP v Ostravě –
Hošťálkovicích pro multiplex MUX1

U zbývajících dvou multiplexů, MUX2 a MUX3, sice nedošlo k navýšení efektivního vyzářeného výkonu, ale byla pro ně vypracována simulace pokrytí signálem DVB-T, a proto byla měřena intenzita signálu i pro tyto dva multiplexy. Naměřené a nasimulované hodnoty lze vidět v tabulce tab. 21.

Lokalita měření	MUX2			MUX3		
	Měření	Simulace	Rozdíl	Měření	Simulace	Rozdíl
	E [dBμV/m]	E [dBμV/m]	E [dBμV/m]	E [dBμV/m]	E [dBμV/m]	E [dBμV/m]
Dolní Benešov, Nádražní 157	63,5	66,1	2,57	64,9	66,4	1,52
Opava-Komárov, Ostravská 54	27,6	50,7	23,07	27,8	51	23,22
Mokré Lazce, Doškův mlýn 118	31,7	55,8	24,07	31,8	56	24,22
Opava, Rooseveltova 2	28,4	46,4	17,97	28,2	46,6	18,42
Ostrava, G. Klimenta 494	65,4	74,2	8,77	63,4	74,2	10,82
Ostrava, Na Robinsonce 1643	63,3	74,9	11,57	62,4	75	12,62
Píšť, nad obcí	43,3	64,5	21,17	42,1	64,7	22,62
Ostrava, Vaňkův kopec	79,4	62,3	-17,13	70,5	62,4	-8,08
Vřesina, Havířská 13	49,4	66,3	16,87	48,5	66,4	17,92
Závada, horní část obce	42,0	62,9	20,87	43,4	63	19,62

Tab. 21: Srovnání intenzit signálů z měřicích bodů a simulačního modelu pro multiplexy MUX2 a MUX3

Zajímavé je rovněž samotné srovnání multiplexu MUX1 před zesílením efektivního vyzářeného výkonu při ERP 15,8 kW a po jeho zesílení na 100 kW z vysílače Ostrava - Hošťálkovice. V měřicích bodech blízkých vysílači, což jsou zejména body v Ostravě, nebylo

zvýšení výkonu příliš patrné, neboť tyto měřicí body částečně pokrýval druhý vysílač multiplexu MUX1 z Ostravy – Hladnova, který je ve společné jednofrekvenční síti SFN na 54. kanálu (jejich překrytí je na obrázcích *obr. 22* a *obr. 23*) a později bude do této sítě SFN přiřazen i vysílač Frýdek – Místek na Lysé Hoře v Beskydech.

Dalším důvodem jen mírného navýšení přijímané intenzity signálu DVB-T je krátká vzdálenost měřících bodů od samotného vysílače při jeho přímé viditelnosti a fakt, že plošná hustota energie se snižuje s druhou mocninou vzdálenosti. Přímé srovnání přijímaných intenzit signálu DVB-T je patrné z tabulky *tab. 22*, ve které jsou uvedeny i naměřené hodnoty odstupů užitečného signálu od šumu, jenž pro signál DVB-T představuje doporučenou hranici 20 dB, se kterou lze přijímat zachycený signál bez chybových bitů.

Lokalita měření	Před zesílením		Po zesílení		Rozdíl	
	Úroveň (level)		Úroveň (level)		Úroveň (level)	
	intenzita	signál/šum	intenzita	signál/šum	intenzita	signál/šum
	E [dBμV/m]	C/N [dB]	E [dBμV/m]	C/N [dB]	E [dBμV/m]	C/N [dB]
Dolní Benešov, Nádražní 157	91,0	57,0	99,5	55,4	8,5	-1,6
Opava-Komárov, Ostravská 54	30,2	6,6	41,1	16,2	10,9	9,6
Mokré Lazce, Doškův mlýn 118	58,7	33,9	74,2	50,0	15,5	16,1
Opava, Rooseveltova 2	31,5	6,4	51,4	27,0	19,9	20,6
Ostrava, G. Klimenta 494	77,8	53,6	73,6	49,1	-4,2	-4,5
Ostrava, Na Robinsonce 1643	90,7	57,1	94,9	55,4	4,2	-1,7
Píšť, nad obcí	44,3	20,2	61,9	37,6	17,6	17,4
Ostrava, Vaňkův kopec	85,9	57,1	98,2	53,7	12,3	-3,4
Vřesina, Havířská 13	56,8	32,5	72,7	48,8	15,9	16,3
Závada, horní část obce	56,1	32,0	62,4	38,5	6,3	6,5

Tab. 22: Srovnání intenzit DVB-T signálu a odstupů signál/šum multiplexu MUX1 před a po navýšení výkonu

7.7 Kvalita signálu - bitová a modulační chybovost

Současné s měřením úrovně signálu DVB-T byly zapisovány hodnoty bitové a modulační chybovosti [3]. Bitová chybovost BER je považována za nejdůležitější parametr

pro vyhodnocení kvality signálu DVB-T. Všeobecně je definována jako poměr počtu chybně přijatých bitů m k celkovému počtu vyslaných bitů n s výslednou bezrozměrnou veličinou.

$$BER = \frac{m}{n} \quad [-] \quad (4)$$

Bitovou chybovost lze měřit v různých částech jak vysílací části signálu DVB-T, tak zejména v jeho přijímači, kde se projevuje i chyba přenosové trasy. Měřicí přístroj SEFRAM 7825 je schopen na straně přijímače detekovat bitovou chybovost CBER, což je bitová chybovost po výstupu z demodulátoru a bitovou chybovost VBER, která představuje bitovou chybovost za Viterbiho dekodérem.

Metoda CBER spočívá v dekódování signálu ve Viterbiho dekodéru, který je opět kódován použitím stejného konvolučního kódového schématu jako na vysílací straně s cílem dosáhnout originální datový tok jako ve vysílači. Tento datový tok se pak porovnává s přijímaným signálem z demodulátoru, tedy ještě před Viterbiho dekodérem. Přípustná hodnota je maximálně 1 chybný bit na celkových 100 přenesených.

Naproti tomu u bitové chybovosti VBER se počet chybných paketů v datovém toku získá porovnáním bitové hodnoty těchto paketů před a za Viterbiho dekodérem. Zde je přípustná hodnota maximálně 1 chybný bit na 5.000 celkových. Hodnota UNC představuje celkový počet neopravených paketů po dokončení opravy dat, tedy za Viterbiho dekodérem s maximálně jedním neopraveným bitem na 100.000 celkových bitů.

Parametr, který přesně vystihuje kvalitu signálu z hlediska kvality digitální modulace se nazývá MER (Modulation Error Ratio) modulační chybovost. MER představuje chybový vektor, který určuje vzdálenost mezi správnou pozicí a aktuální reálnou pozicí daného symbolu. Lze jej také charakterizovat jako sumu kvadrátů absolutních hodnot ideálních symbolových vektorů podělenou sumou kvadrátů symbolových chybných reálných vektorů. Výsledná hodnota je pak vyjádřena jako výkonový poměr v jednotkách [dB] a dle *vyhlášky č. 163/2008* [1] by jeho hodnota měla být větší nebo rovna 22 dB.

Tyto hodnoty bitových a modulačních chybovostí se však během měření dynamicky mění v závislosti na denní době nebo meteorologických podmínkách a tudíž je nelze považovat za konečné a nebyl na ně během měření kladen takový důraz jako na intenzitu signálu v měřicím bodě. Přehled získaných bitových a modulačních chybovostí pro multiplex MUX1 je v tabulce *tab. 23* a pro ostatní multiplexy v tabulce *tab. 24*.

Lokalita měření	Před zesílením (ERP 15,8 kW)				Po zesílení (ERP 100 kW)			
	Chybovost (BER/MER) pro MUX1				Chybovost (BER/MER) pro MUX1			
	CBER	VBER	UNC	MER	CBER	VBER	UNC	MER
	-	-	-	[dB]	-	-	-	[dB]
Dolní Benešov, Nádražní 157	3,60E-08	9,00E-09	5,00E-06	35	1,00E-07	9,00E-09	3,00E-06	35,0
Opava-Komárov, Ostravská 54	-	-	-	-	-	-	-	-
Mokré Lazce, Doškův mlýn 118	1,40E-04	9,00E-09	5,00E-06	29,4	1,20E-06	1,00E-08	5,00E-06	35,0
Opava, Rooseveltova 2	-	-	-	-	1,60E-03	2,00E-08	9,00E-06	24,2
Ostrava, G. Klimenta 494	1,00E-08	9,00E-09	5,00E-06	35	4,30E-07	9,00E-09	5,00E-06	35,0
Ostrava, Na Robinsonce 1643	1,00E-08	1,00E-08	9,00E-06	35	5,80E-05	2,00E-09	1,00E-06	29,7
Píšť, nad obcí	4,90E-02	7,70E-02	5,00E-06	19,2	3,90E-05	2,00E-08	9,00E-06	29,4
Ostrava, Vaňkův kopec	9,40E-05	1,00E-08	5,00E-06	29,4	5,40E-07	5,00E-09	2,00E-06	35,0
Vřesina, Havířská 13	2,20E-02	2,50E-04	2,00E-06	23,9	7,00E-05	5,00E-09	2,00E-06	29,2
Závada, horní část obce	4,70E-04	9,00E-09	5,00E-06	26,5	2,30E-03	1,00E-08	9,00E-06	26,2

Tab. 23: Bitové a modulační chybovosti multiplexu MUX1 před a po navýšení výkonu

Lokalita měření	Chybovost (BER/MER) pro MUX2				Chybovost (BER/MER) pro MUX2			
	CBER	VBER	UNC	MER	CBER	VBER	UNC	MER
	-	-	-	[dB]	-	-	-	[dB]
	-	-	-	[dB]	-	-	-	[dB]
Dolní Benešov, Nádražní 157	1,40E-03	9,00E-09	2,00E-06	26,8	1,70E-02	3,30E-04	2,00E-06	21,4
Opava-Komárov, Ostravská 54	-	-	-	-	-	-	-	-
Mokré Lazce, Doškův mlýn 118	-	-	-	-	-	-	-	-
Opava, Rooseveltova 2	-	-	-	-	-	-	-	-
Ostrava, G. Klimenta 494	3,70E-04	1,00E-08	5,00E-06	29,0	8,10E-04	2,00E-08	9,00E-06	25,2
Ostrava, Na Robinsonce 1643	1,40E-03	1,00E-08	9,00E-06	25,8	8,50E-03	6,30E-06	5,00E-06	22,4
Píšť, nad obcí	-	-	-	-	-	-	-	-
Ostrava, Vaňkův kopec	2,90E-04	1,00E-05	1,00E-05	29,5	2,70E-03	2,00E-08	9,00E-07	24,6
Vřesina, Havířská 13	2,10E-02	9,00E-08	1,00E-05	19,4	3,20E-02	9,00E-08	9,00E-06	18,0
Závada, horní část obce	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 24: Bitové a modulační chybovosti multiplexů MUX2 a MUX3

7.8 Subjektivní hodnocení kvality signálu DVB-T

Zároveň vždy s měřením intenzity signálu DVB-T bylo provedeno i subjektivní hodnocení přijímaného multiplexu podle předepsaných požadavků ve vyhlášce č. 163/2008 [1] dle následujících kritérií uvedených v tabulce *tab. 25* s minimální dobou sledování vybraného programu 3 minuty.

Q1	kvalita špatná, časté výpadky, přijímač se nezasynchronizuje
Q3	kvalita dobrá, jednotlivé mžikové výpadky
Q5	kvalita výborná, nepozorovatelné závady v kvalitě obrazu a zvuku

Tab. 25: Popis subjektivního hodnocení kvality obrazu a zvuku

Výsledná tabulka *tab. 26* subjektivních hodnocení jednotlivých multiplexů na zvoleném televizním programu je následující.

Lokalita měření	MUX1 (ERP 15,8 kW)	MUX1 (ERP 100 kW)	MUX2	MUX3
	Subjektivní hodnocení	Subjektivní hodnocení	Subjektivní hodnocení	Subjektivní hodnocení
Dolní Benešov, Nádražní 157	Q5	Q5	Q5	Q5
Opava-Komárov, Ostravská 54	Q1	Q1	Q1	Q1
Mokré Lazce, Doškův mlýn 118	Q3	Q5	Q1	Q1
Opava, Rooseveltova 2	Q1	Q3	Q1	Q1
Ostrava, G. Klimenta 494	Q5	Q5	Q5	Q5
Ostrava, Na Robinsonce 1643	Q5	Q5	Q5	Q5
Píšť, nad obcí	Q1	Q5	Q1	Q1
Ostrava, Vaňkův kopec	Q5	Q5	Q5	Q5
Vřesina, Havířská 13	Q3	Q5	Q1	Q1
Závada, horní část obce	Q3	Q5	Q1	Q1

Tab. 26: Subjektivní hodnocení kvality obrazu a zvuku jednotlivých multiplexů

Stejně jako při měření intenzity signálu DVB-T, bitové a modulační chybovosti, tak i při posuzování subjektivních hodnocení byly některé multiplexy vynechány zejména z důvodu velice slabého příjmu a tím pádem nefunkčnosti celého multiplexu nebo jejich velice častých výpadků a zamrzání. Opět byly tedy ze subjektivního hodnocení vynechány multiplexy MUX4, Klimkovice a Katowice.

8 Závěr

Cílem této práce bylo teoreticky popsat rodinu signálů DVB [3] digitálního televizního vysílání a zaměřit se především na jeho pozemní verzi DVB-T, ve které probíhal simulační model pokrytí tímto signálem a poté ověření simulací praktickým měřením.

Česká republika jako mnoho jiných zemí postupně přechází z analogového na digitální pozemní televizní vysílání DVB-T, které se nevyhnulo ani ostravskému regionu. Na jeho území se nacházejí dva vysílače Ostrava – Hošťálkovice a Ostrava – Hladnov, které distribuují celkem tři hlavní multiplexy, a to multiplex MUX1 s veřejnoprávním vysíláním a dva komerční multiplexy MUX2 a MUX3 vysílané pouze z Ostravy - Hladnova, přičemž multiplex MUX1 vysílaný z obou vysílačů tvoří jednofrekvenční síť SFN.

Pro oba tyto vysílače byly provedeny simulace pokrytí digitálním pozemním televizním vysíláním DVB-T a poté získané hodnoty ověřeny měřením dle *vyhlášky č. 163/2008 o způsobu stanovení pokrytí signálem zemského televizního vysílání* [1], kterou vydal Český telekomunikační úřad 30. dubna 2008.

Vlastní modely pokrytí byly provedeny v simulačním systému RadioLab 3.5.0, jak pro obě ostravské vysílací stanoviště, tak pro všechny vysílané multiplexy. Během roku 2009 však došlo mimo *technický plán přechodu zemského analogového televizního vysílání na zemské digitální televizní vysílání*, který je stanovený *nařízením vlády č. 161/2008* [2] z 28. dubna 2008, ke změně efektivního vyzářeného výkonu na vysílači Ostrava – Hošťálkovice spojené s výměnou anténního systému a naskytla se jedinečná možnost vytvořené simulační modely pro zvýšený efektivní vyzářený výkon na 100 kW ověřit praktickým měřením. Toto navýšení výkonu se týkalo pouze prvního multiplexu MUX1.

Za oblast měření byl zvolen západní směr na Opavu, díky specifickému nastavení vyzařovací charakteristiky původního anténního systému, kde byl předpoklad slabšího pokrytí signálem DVB-T. V této lokalitě bylo vytipováno celkem 10 měřících bodů a v každém bodě proběhla dvě měření s různým efektivně vyzářeným výkonem z vysílače Ostrava – Hošťálkovice. První série měření proběhla do 31. října 2009 s efektivně vyzářeným výkonem 15,8 kW a měřením všech multiplexů, druhá série byla měřena po 1.11.2009 s efektivně vyzářeným výkonem 100 kW, kdy byl měřen jen multiplex MUX1, u kterého došlo k navýšení

výkonu. Celkem proběhlo 70 měření intenzit a kvality signálu DVB-T, která jsou uvedena v příloze č. CD4.

Jednou z nejdůležitějších měřených veličin byla napěťová úroveň signálu DVB-T na svorkách přijímací antény, která byla následně přepočtena na intenzitu elektromagnetického pole v bodě měření, tedy na hodnotu kterou připouští *vyhláška č. 163/2008* [1], a se kterou pracuje simulační software RadioLab 3.5.0. Dalšími důležitými měřenými parametry byly bitová a modulační chybovost a subjektivní hodnocení libovolně zvoleného televizního programu z měřeného multiplexu.

Porovnáním získaných simulačních modelů s naměřenými hodnotami intenzity signálu DVB-T v měřených bodech byly bohužel zjištěny značné nepřesnosti, zejména v zastavěných oblastech a v místech krytých terénními překážkami. Srovnání těchto hodnot lze vidět v tabulkách *tab. 19 až tab. 21*. Tyto rozdíly byly způsobeny nepřesným simulačním modelem, který neumí počítat se zástavbou, odrazy signálů od této zástavby a meteorologickými podmínkami. Nepoměrně přesnější byla modelová simulace na místech s přímou viditelností na daný vysílač. Další nepřesnosti vznikaly při měření multiplexu MUX1, který je vysílán v jednofrekvenční síti SFN ze dvou vysílacích bodů, ale modelová simulace pokrytí rádiovým signálem umožňuje zjistit teoretickou intenzitu signálu v měřicím bodě pouze z jednoho vysílacího bodu. *Obecně lze však tvrdit, že modelová simulace uvádí lepší pokrytí území signálem DVB-T, než je tomu ve skutečnosti.*

Samotné srovnání hodnot intenzit signálů před navýšením efektivního vyzářeného výkonu a po jeho navýšení je patrné z tabulky *tab. 22*, kde je možno pozorovat jen malý nárůst intenzity signálu pozemního digitálního televizního vysílání v měřicích bodech v těsné blízkosti vysílače. To je dáno faktem, že plošná hustota se snižuje s druhou mocninou vzdálenosti.

Subjektivní hodnocení zvoleného televizního programu z měřeného multiplexu je uvedeno v tabulce *tab. 26* a v podstatě odpovídá naměřeným hodnotám intenzit elektromagnetického pole.

Během měření se však vyskytl problematický příjem v měřicím bodě Dolní Benešov, kdy příliš silný signál s efektivním vyzářeným výkonem po zesílení na 100 kW z Ostravy – Hošťálkovic způsobil patrně zahlcení a rozkmitání zesilovače společné televizní antény v domě a tím pádem i zhoršený příjem zbylých dvou multiplexů MUX2 a MUX3 s výrazně slabším vyzářeným výkonem 10 kW. Tento problém se však neprojevil u měřicí antény, která není vybavena zesilovačem. Řešením vzniklé situace je vložení útlumového článku do signálové

cesty pro kanál č. 54, tedy pro multiplex MUX1 s výkonem 100 kW z Ostravy – Hošťálkovic. Otázkou zůstává finanční rentabilita takového kroku z důvodu předpokládaného navýšení vysílacích výkonů i u zbylých multiplexů a také horší dostupnost takového útlumového článku v běžné distribuci.

Dalšími měřenými veličinami byly bitová (BER) a modulační (MER) chybovost, které se však během měření dynamicky měnily, především v závislosti na denní době nebo meteorologických podmínkách a nebyla možnost je nijak modelově nasimulovat a srovnávat, proto na ně nebyl kladen takový důraz jako na intenzitu signálu DVB-T.

Seznam použité literatury

- [1] Vyhláška č. 163/2008 - *O způsobu stanovení pokrytí signálem zemského televizního vysílání*. Sbírka zákonů, strana 2126, část 51, 2008
- [2] Nařízení vlády č. 161/2008 Sb. - *O technickém plánu přechodu zemského analogového televizního vysílání na zemské digitální televizní vysílání*. Sbírka zákonů, strana 2074, část 51, 2008
- [3] Martin Legiš - *Televizní technika DVB-T*. 1. vydání. Praha: BEN, 2007
ISBN 978-80-73000-204-3
- [4] Ahmed El-Rabbany - *Introduction to GPS*. 1st edition. Boston: Artech House, 2002
ISBN 1-58053-183-0
- [5] Jiří Toman, Ivo Procházka - *Digitalizace televizního vysílání, technické základy*
URL: <[http](http://www.ceskatelevize.cz/specialy/digict/kapitola4b.htm)>//www.ceskatelevize.cz/specialy/digict/kapitola4b.htm
- [6] Jan Heller - *Linux & DVB-T*, 2009
URL: <[http](http://www.ms.mff.cuni.cz/~hellj1am/WWW/ldvb/index.html)>//www.ms.mff.cuni.cz/~hellj1am/WWW/ldvb/index.html
- [7] David Kříž - *Jak fungují vysílače*, 2009
URL: <[http](http://www.digizone.cz/serialy/jak-funguji-vysilace/)>//www.digizone.cz/serialy/jak-funguji-vysilace/
- [8] Pavel Slezák - *Elektromagnetické vlnění pro přenos rádiových a TV signálů*, 2009
URL: <[http](http://elmag.sps.sweb.cz/index.htm)>//elmag.sps.sweb.cz/index.htm
- [9] Encyklopedie Wikipedia - *DVB-C, technický popis vysílače*
URL: <[http](http://cs.wikipedia.org/wiki/DVB-C)>//cs.wikipedia.org/wiki/DVB-C
- [10] Dušan Sloboda - *Rychlost v satelitním digitálním příjmu DVB-S*, 2001
URL: <[http](http://www.parabola.cz/clanky/152/rychlost-v-digitalnim-satelitnim-prijmu-dvb-s)>//www.parabola.cz/clanky/152/rychlost-v-digitalnim-satelitnim-prijmu-dvb-s
- [11] Český telekomunikační úřad - *Přehled vysílačů digitálních sítí*
URL: <[http](http://dtv.ctu.cz/vysilace)>//dtv.ctu.cz/vysilace

- [12] České radiokomunikace - *Přehledy vysílačů*
URL: <http>://www.radiokomunikace.cz/vysilaci-sluzby/digitalni-tv-vysilani/prehledy-vysilacu.html
- [13] Josef Plzák - *Šíření rádiových signálů*, 2006
URL: <http>://www.crk.cz/CZ/SIRENIC
- [14] Encyklopedie Wikipedia - *DVB-T, Basics of DVB-T*
URL: <http>://en.wikipedia.org/wiki/DVB-T
- [15] Marek Dvorský, Roman Šebesta – *Průběžná zpráva měření signálu DVB-T*
URL: <http>://kat440.vsb.cz/files/pdf/prubezna_zprava_mereni_dvbt.pdf
- [16] Marek Dvorský – *Výměna vysílací antény na stanovišti Ostrava - Hošťálkovice*
URL: <http>://mara.mrak.cz/hostalkovice/
- [17] More information ref. 1044 – *Frequency response*
URL: <http>://www.televes.com/ficheros/1044-rf.gif

Seznam příloh

Příloha A - Vyzařovací charakteristiky anténních systémů Ostrava – Hladnov a

Ostrava – Hošťálkovice

Příloha B - Naměřené hodnoty multiplexů z měřících bodů

Seznam příloh v elektronické podobě

Příloha CD1 - Vyhláška č. 163/2008

Příloha CD2 - Nařízení vlády č. 161/2008

Příloha CD3 - Složení multiplexu MUX1

Příloha CD4 - Získaná data ze všech měření z přístroje SEFRAM 7825

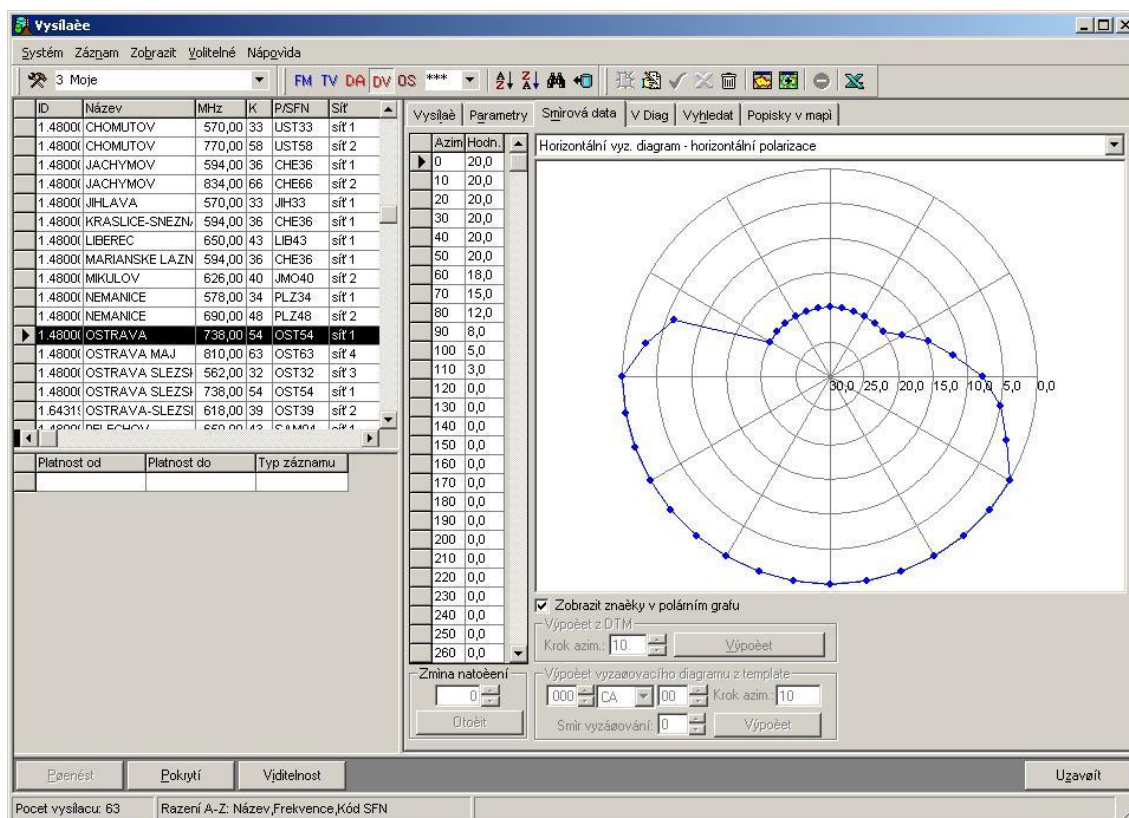
Příloha CD5 - Technická dokumentace přístroje SEFRAM 7825

Příloha CD6 - Technická dokumentace antény Televes 1044

Příloha A

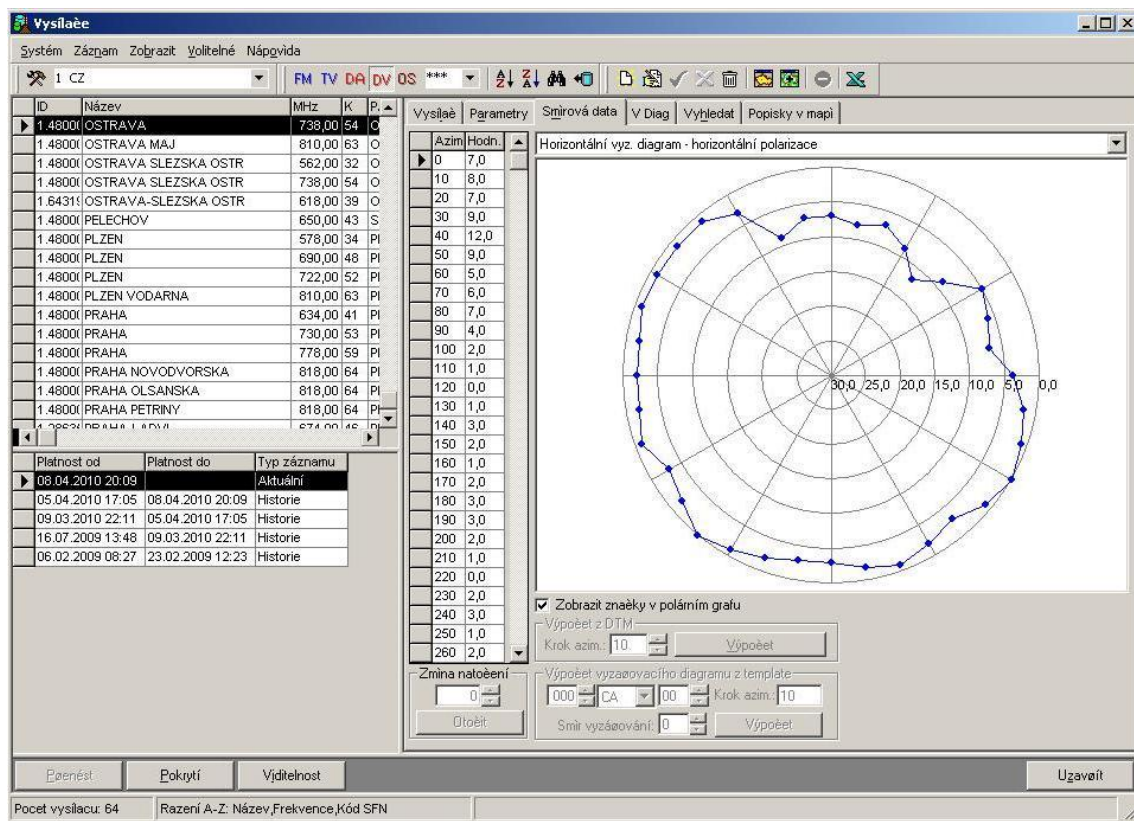
Část A1 – Vyzařovací charakteristika multiplexu MUX1 pro ERP 15,8 kW (do 31.10.2009)

z Ostravy - Hošťálkovic

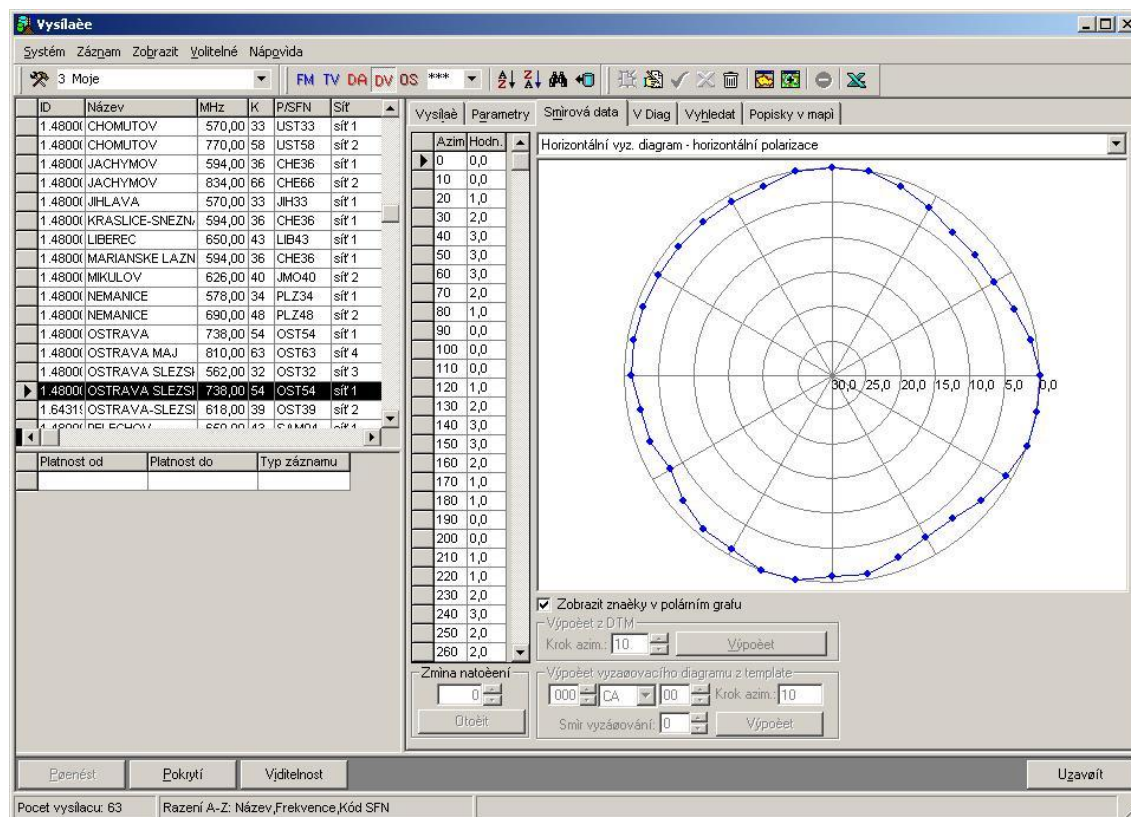


Část A2 – Vyzařovací charakteristika multiplexu MUX1 pro ERP 100 kW (po 1.11.2009)

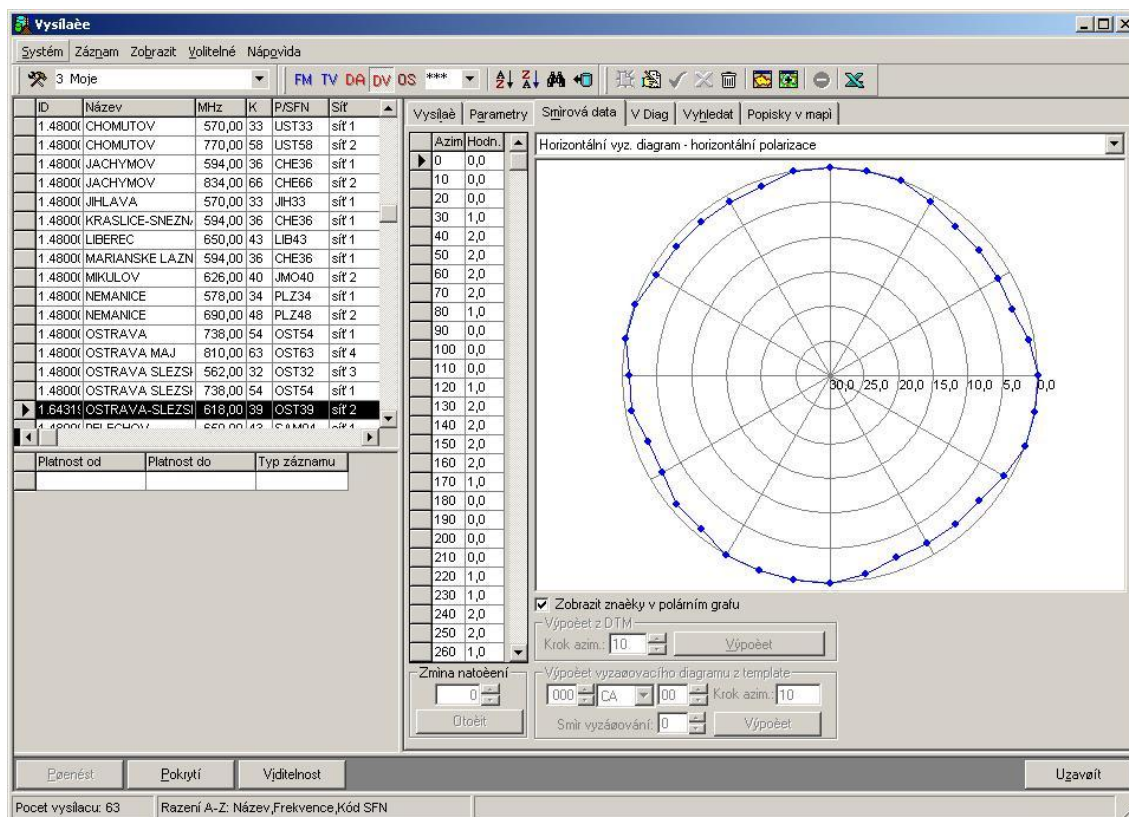
z Ostravy - Hošťálkovic



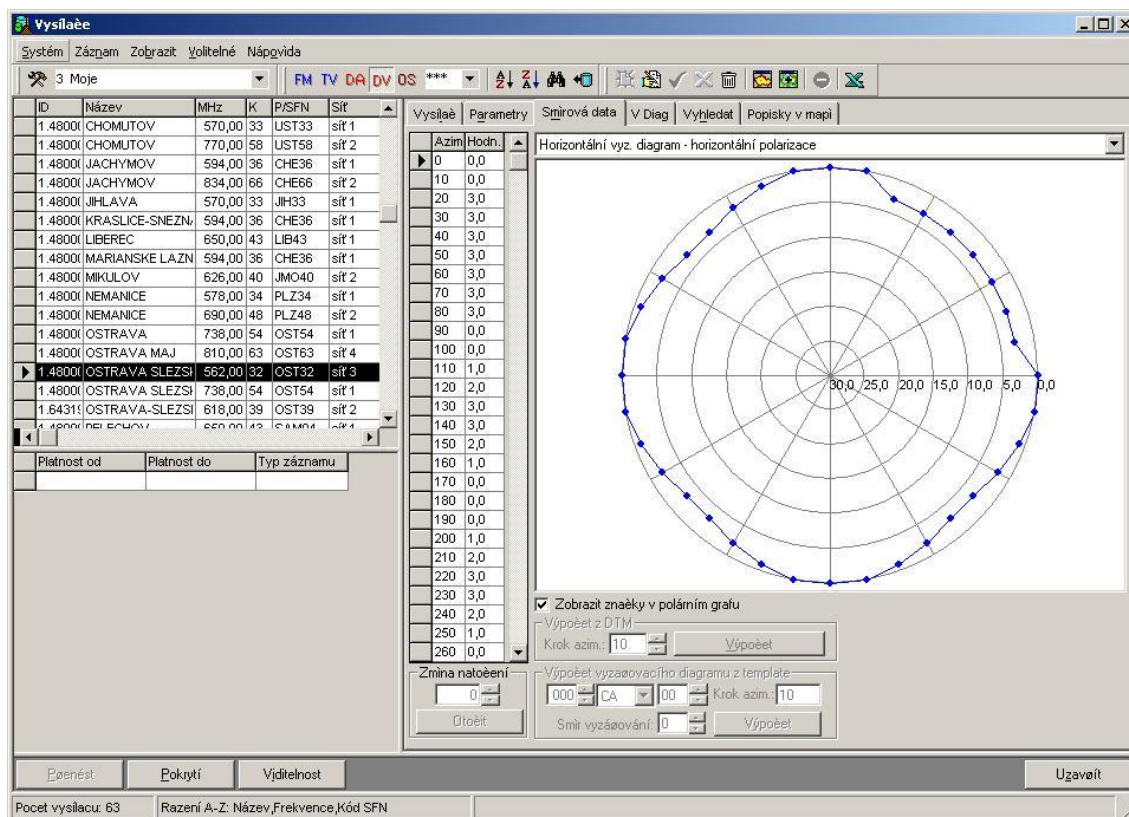
Část A3 – Vyzařovací charakteristika multiplexu MUX1 z Ostravy – Hladnova



Část A4 – Vyzařovací charakteristika multiplexu MUX2 z Ostravy – Hladnova



Část A5 – Vyzařovací charakteristika multiplexu MUX3 z Ostravy – Hladnova



Příloha B

Č. měření	Lokalita měření	Datum, čas měření	Úroveň (level)		Chybovost (BER/MER)				Subjektivní hodnocení	Souřadnice GPS	
			V [dBμV]	C/N [dB]	CBER	VBER	UNC	MER [dB]		N	E
1	Dolní Benešov, Nádražní 157	24.10.2009, 13:51	82,6	57,0	3,60E-08	9,00E-09	5,00E-06	35	Q5	49°55,213	18°06,929
2	Opava-Komárov, Ostravská 54	26.10.2009, 10:10	21,8	6,6	-	-	-	-	Q1	49°54,998	17°58,026
3	Mokré Lazce, Doškův mlýn 118	24.10.2009, 11:53	50,3	33,9	1,40E-04	9,00E-09	5,00E-06	29,4	Q3	49°54,847	18°01,853
4	Opava, Rooseveltova 2	24.10.2009, 10:46	23,1	6,4	-	-	-	-	Q1	49°55,974	17°53,802
5	Ostrava, G. Klimenta 494	25.10.2009, 12:48	69,4	53,6	1,00E-08	9,00E-09	5,00E-06	35	Q5	49°49,411	18°10,342
6	Ostrava, Na Robinsonce 1643	25.10.2009, 17:45	82,3	57,1	1,00E-08	1,00E-08	9,00E-06	35	Q5	49°50,725	18°10,575
7	Píšť, nad obcí	24.10.2009, 15:02	35,9	20,2	4,90E-02	7,70E-02	5,00E-06	19,2	Q1	49°58,048	18°11,662
8	Ostrava, Vaňkův kopec	25.10.2009, 16:55	77,5	57,1	9,40E-05	1,00E-08	5,00E-06	29,4	Q5	49°51,273	18°03,770
9	Vřesina, Havířská 13	25.10.2009, 14:49	48,4	32,5	2,20E-02	2,50E-04	2,00E-06	23,9	Q3	49°57,023	18°11,866
10	Závada, horní část obce	24.10.2009, 14:34	47,7	32,0	4,70E-04	9,00E-09	5,00E-06	26,5	Q3	49°57,394	18°10,187

Měření multiplexu MUX1 před navýšením výkonu na vysílači Ostrava - Hošťálkovice

Č. měření	Lokalita měření	Datum, čas měření	Úroveň (level)		Chybovost (BER/MER)				Subjektivní hodnocení	Souřadnice GPS	
			V [dBμV]	C/N [dB]	CBER	VBER	UNC	MER [dB]		N	E
1	Dolní Benešov, Nádražní 157	17.11.2009, 15:09	91,1	55,4	1,00E-07	9,00E-09	3,00E-06	35,0	Q5	49°55,213	18°06,929
2	Opava-Komárov, Ostravská 54	18.11.2009, 13:57	32,7	16,2	-	-	-	-	Q1	49°54,998	17°58,026
3	Mokré Lazce, Doškův mlýn 118	17.11.2009, 13:26	65,8	50,0	1,20E-06	1,00E-08	5,00E-06	35,0	Q5	49°54,847	18°01,853
4	Opava, Rooseveltova 2	17.11.2009, 14:10	43,0	27,0	1,60E-03	2,00E-08	9,00E-06	24,2	Q3	49°55,974	17°53,802
5	Ostrava, G. Klimenta 494	17.11.2009, 11:33	65,2	49,1	4,30E-07	9,00E-09	5,00E-06	35,0	Q5	49°49,411	18°10,342
6	Ostrava, Na Robinsonce 1643	22.11.2009, 17:56	86,5	55,4	5,80E-05	2,00E-09	1,00E-06	29,7	Q5	49°50,725	18°10,575
7	Píšť, nad obcí	16.11.2009, 14:58	53,5	37,6	3,90E-05	2,00E-08	9,00E-06	29,4	Q5	49°58,048	18°11,662
8	Ostrava, Vaňkův kopec	16.11.2009, 13:54	89,8	53,7	5,40E-07	5,00E-09	2,00E-06	35,0	Q5	49°51,273	18°03,770
9	Vřesina, Havířská 13	17.11.2009, 16:12	64,3	48,8	7,00E-05	5,00E-09	2,00E-06	29,2	Q5	49°57,023	18°11,866
10	Závada, horní část obce	17.11.2009, 15:49	54,0	38,5	2,30E-03	1,00E-08	9,00E-06	26,2	Q5	49°57,394	18°10,187

Měření multiplexu MUX1 po navýšení výkonu na vysílači Ostrava - Hošťálkovice

Č. měření	Lokalita měření	Datum, čas měření	Úroveň (level)		Chybovost (BER/MER)				Subjektivní hodnocení	Souřadnice GPS	
			V [dBμV]	C/N [dB]	CBER	VBER	UNC	MER [dB]		N	E
1	Dolní Benešov, Nádražní 157	24.10.2009, 13:55	56,6	40,8	1,40E-03	9,00E-09	2,00E-06	26,8	Q5	49°55,213	18°06,929
2	Opava-Komárov, Ostravská 54	26.10.2009, 10:12	20,7	5,1	-	-	-	-	Q1	49°54,998	17°58,026
3	Mokré Lazce, Doškův mlýn 118	24.10.2009, 11:57	24,8	8,5	-	-	-	-	Q1	49°54,847	18°01,853
4	Opava, Rooseveltova 2	24.10.2009, 10:47	21,5	4,8	-	-	-	-	Q1	49°55,974	17°53,802
5	Ostrava, G. Klimenta 494	25.10.2009, 12:51	58,5	42,4	3,70E-04	1,00E-08	5,00E-06	29,0	Q5	49°49,411	18°10,342
6	Ostrava, Na Robinsonce 1643	25.10.2009, 17:50	56,4	40,8	1,40E-03	1,00E-08	9,00E-06	25,8	Q5	49°50,725	18°10,575
7	Píšť, nad obcí	24.10.2009, 15:04	36,4	20,5	-	-	-	-	Q1	49°58,048	18°11,662
8	Ostrava, Vaňkův kopec	25.10.2009, 16:57	72,5	51,8	2,90E-04	1,00E-05	1,00E-05	29,5	Q5	49°51,273	18°03,770
9	Vřesina, Havířská 13	25.10.2009, 14:52	42,5	26,4	2,10E-02	9,00E-08	1,00E-05	19,4	Q1	49°57,023	18°11,866
10	Závada, horní část obce	24.10.2009, 14:38	35,1	19,2	-	-	-	-	Q1	49°57,394	18°10,187

Měření multiplexu MUX2 pro ERP 10 kW

Č. měření	Lokalita měření	Datum, čas měření	Úroveň (level)		Chybovost (BER/MER)				Subjektivní hodnocení	Souřadnice GPS	
			V [dBμV]	C/N [dB]	CBER	VBER	UNC	MER [dB]		N	E
1	Dolní Benešov, Nádražní 157	24.10.2009, 13:57	58,3	42,3	1,70E-02	3,30E-04	2,00E-06	21,4	Q5	49°55,213	18°06,929
2	Opava-Komárov, Ostravská 54	26.10.2009, 10:13	21,2	5,6	-	-	-	-	Q1	49°54,998	17°58,026
3	Mokré Lazce, Doškův mlýn 118	24.10.2009, 11:59	25,2	8,7	-	-	-	-	Q1	49°54,847	18°01,853
4	Opava, Rooseveltova 2	24.10.2009, 10:50	21,6	5,0	-	-	-	-	Q1	49°55,974	17°53,802
5	Ostrava, G. Klimenta 494	25.10.2009, 12:54	56,8	40,4	8,10E-04	2,00E-08	9,00E-06	25,2	Q5	49°49,411	18°10,342
6	Ostrava, Na Robinsonce 1643	25.10.2009, 17:52	55,8	39,7	8,50E-03	6,30E-06	5,00E-06	22,4	Q5	49°50,725	18°10,575
7	Píšť, nad obcí	24.10.2009, 15:06	35,5	19,2	-	-	-	-	Q1	49°58,048	18°11,662
8	Ostrava, Vaňkův kopec	25.10.2009, 16:58	63,9	48,4	2,70E-03	2,00E-08	9,00E-07	24,6	Q5	49°51,273	18°03,770
9	Vřesina, Havířská 13	25.10.2009, 14:54	41,9	25,4	3,20E-02	9,00E-08	9,00E-06	18,0	Q1	49°57,023	18°11,866
10	Závada, horní část obce	24.10.2009, 14:40	36,8	20,9	-	-	-	-	Q1	49°57,394	18°10,187

Měření multiplexu MUX3 pro ERP 2 kW

Č. měření	Lokalita měření	Datum, čas měření	Úroveň (level)		Chybovost (BER/MER)				Subjektivní hodnocení	Souřadnice GPS	
			V [dBμV]	C/N [dB]	CBER	VBER	UNC	MER [dB]		N	E
1	Dolní Benešov, Nádražní 157	24.10.2009, 14:09	48,1	31,8	6,60E-04	1,00E-08	9,00E-06	25,5	Q1	49°55,213	18°06,929
2	Opava-Komárov, Ostravská 54	26.10.2009, 10:17	20,9	4,7	-	-	-	-	Q1	49°54,998	17°58,026
3	Mokré Lazce, Doškův mlýn 118	24.10.2009, 12:06	21,5	4,5	-	-	-	-	Q1	49°54,847	18°01,853
4	Opava, Rooseveltova 2	24.10.2009, 11:05	21,3	4,6	-	-	-	-	Q1	49°55,974	17°53,802
5	Ostrava, G. Klimenta 494	25.10.2009, 13:05	51,8	35,2	1,70E-04	1,00E-05	1,00E-05	30,0	Q3	49°49,411	18°10,342
6	Ostrava, Na Robinsonce 1643	25.10.2009, 18:04	57,0	40,5	1,30E-05	2,00E-07	1,00E-05	33,0	Q5	49°50,725	18°10,575
7	Píšť, nad obcí	25.10.2009, 14:33	28,4	11,9	-	-	-	-	Q1	49°58,048	18°11,662
8	Ostrava, Vaňkův kopec	25.10.2009, 17:07	66,3	50,2	4,00E-04	1,00E-05	2,00E-05	29,5	Q3	49°51,273	18°03,770
9	Vřesina, Havířská 13	25.10.2009, 15:01	27,5	10,8	-	-	-	-	Q1	49°57,023	18°11,866
10	Závada, horní část obce	24.10.2009, 14:45	21,1	4,8	-	-	-	-	Q1	49°57,394	18°10,187

Měření multiplexu MUX4 pro ERP 0,8 kW

Č. měření	Lokalita měření	Datum, čas měření	Úroveň (level)		Chybovost (BER/MER)				Subjektivní hodnocení	Souřadnice GPS	
			V [dBμV]	C/N [dB]	CBER	VBER	UNC	MER [dB]		N	E
1	Dolní Benešov, Nádražní 157	24.10.2009, 14:06	35,9	19,8	-	-	-	-	Q1	49°55,213	18°06,929
2	Opava-Komárov, Ostravská 54	26.10.2009, 10:16	22,1	6,0	-	-	-	-	Q1	49°54,998	17°58,026
3	Mokré Lazce, Doškův mlýn 118	24.10.2009, 12:04	23,1	6,6	-	-	-	-	Q1	49°54,847	18°01,853
4	Opava, Rooseveltova 2	24.10.2009, 11:00	44,9	28,4	-	-	-	-	Q1	49°55,974	17°53,802
5	Ostrava, G. Klimenta 494	25.10.2009, 13:02	55,7	39,2	1,50E-04	2,00E-08	9,00E-06	15,6	Q3	49°49,411	18°10,342
6	Ostrava, Na Robinsonce 1643	25.10.2009, 18:00	34,7	18,5	6,30E-02	1,00E-05	3,00E-05	8,3	Q1	49°50,725	18°10,575
7	Píšť, nad obcí	25.10.2009, 14:32	29,5	13,4	-	-	-	-	Q1	49°58,048	18°11,662
8	Ostrava, Vaňkův kopec	25.10.2009, 17:04	49,3	33,2	-	-	-	-	Q1	49°51,273	18°03,770
9	Vřesina, Havířská 13	25.10.2009, 14:59	23,4	7,0	-	-	-	-	Q1	49°57,023	18°11,866
10	Závada, horní část obce	24.10.2009, 14:43	22,7	6,6	-	-	-	-	Q1	49°57,394	18°10,187

Měření multiplexu B+TV Klimkovice pro ERP 0,1 kW

Č. měření	Lokalita měření	Datum, čas měření	Úroveň (level)		Chybovost (BER/MER)				Subjektivní hodnocení	Souřadnice GPS	
			V [dBμV]	C/N [dB]	CBER	VBER	UNC	MER [dB]		N	E
1	Dolní Benešov, Nádražní 157	24.10.2009, 14:03	22,5	6,4	-	-	-	-	Q1	49°55,213	18°06,929
2	Opava-Komárov, Ostravská 54	26.10.2009, 10:15	20,8	5,0	-	-	-	-	Q1	49°54,998	17°58,026
3	Mokré Lazce, Doškův mlýn 118	24.10.2009, 12:02	21,4	4,7	-	-	-	-	Q1	49°54,847	18°01,853
4	Opava, Rooseveltova 2	24.10.2009, 10:54	22,7	6,2	-	-	-	-	Q1	49°55,974	17°53,802
5	Ostrava, G. Klimenta 494	25.10.2009, 12:58	42,4	26,0	-	-	-	-	Q1	49°49,411	18°10,342
6	Ostrava, Na Robinsonce 1643	25.10.2009, 17:54	35,1	19,1	-	-	-	-	Q1	49°50,725	18°10,575
7	Píšť, nad obcí	25.10.2009, 14:29	32,4	16,5	-	-	-	-	Q1	49°58,048	18°11,662
8	Ostrava, Vaňkův kopec	25.10.2009, 17:01	65,1	49,2	-	-	-	-	Q1	49°51,273	18°03,770
9	Vřesina, Havířská 13	25.10.2009, 14:56	37,5	21,2	-	-	-	-	Q1	49°57,023	18°11,866
10	Závada, horní část obce	24.10.2009, 14:41	24,0	7,9	-	-	-	-	Q1	49°57,394	18°10,187

Měření multiplexu Katowice pro ERP 1 kW